

**REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON SISTEMA COMPUESTO ORGANICO
(S.C.O.)**

**EFRAIN FUENTES QUINTERO
VIVIANA ANDREA VERA CACHOPO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE UNGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON SISTEMA COMPUESTO ORGANICO
(S.C.O.)**

**EFRAIN FUENTES QUINTERO
VIVIANA ANDREA VERA CACHOPO**

**Proyecto de grado en modalidad de investigación para optar el título de
Ingeniero Civil**

**Director
RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

Efraín Fuentes Quintero

Dedicatoria

*A mis padres
y a Jaime Luis*

Viviana Andrea Vera C

Dedicatoria

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Al señor Varela por su soldadura inquebrantable, y excelente trabajo.

A los tios Henry y Gerardo por sus conceptos hidráulicos, mecánicos y pintorescos.

A la Señora Ligia por sus herramientas infaltables

A Felipe por su ayuda vehicular (gracias Claudia) y su apoyo incondicional

Al tío Fernando por ayuda en la elaboración de las formaletas.

A la familia Fuentes Quintero por sus conocimientos, su apoyo y su confianza

A la Familia Vera Cachopo por su apoyo

A Jaime Luis por su excelente trabajo de despercudida de los perfiles de acero

Al profesor Miguel Agudelo por su aporte en la calibración del equipo

Al profesor Ricardo Cruz por ser la guía durante todo el tiempo de trabajo

A Jairo Hernández por su colaboración en el laboratorio de hormigón

A German por su colaboración en el laboratorio

A Wilson, Wilfrank, Ricardo y Alex (nuestros amigos mendihuacos) por estar prestos a ayudar en el momento indicado

A Jairo y Jairo Andrés por su ayuda en la construcción de los especimenes

A mi ahijado por ser un excelente picador de alambre para amarre

A Gisela Gallardo

Y a todas aquellas personas que colocaron de una u otra manera un grano de arena para que todo fuera posible

CONTENIDO

| | Pag. |
|---|------|
| INTRODUCCION | 1 |
| OBJETIVO GENERAL | 2 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS | 2 |
| 1. MARCO TEORICO | 3 |
| 1.1. QUE ES SISTEMA COMPUESTO ORGANICO | 3 |
| 1.1.1. Materiales compuestos | 4 |
| 1.1.2. Fique | 5 |
| 1.1.3. Epóxico | 7 |
| 1.2. MODELOS A ESCALA | 9 |
| 1.2.1. Reseña histórica de los modelos a escala | 10 |
| 1.2.2. Clasificación de los modelos a escala | 10 |
| 1.2.3. Pasos a tener en cuenta en el proceso de modelado | 13 |
| 1.2.4. Estadística de los modelos a escala | 14 |
| 1.2.5. Modelos de concreto reforzado | 17 |
| 1.2.6. Refuerzo de los modelos a escala en concreto reforzado | 23 |
| 1.2.7. Recomendaciones finales para el modelado a escala | 25 |
| 1.3. TEORIA DE COLUMNAS | 28 |
| 1.3.1. Columnas cortas | 30 |
| 1.3.2. Columnas esbeltas | 31 |

| | |
|--|-----|
| 2. DISEÑOS | 33 |
| 2.1. DISEÑO DEL ENSAYO DE PRUEBA | 33 |
| 2.2. DISEÑO DE ESPECIMENES DE PRUEBA | 33 |
| 2.2.1. Columna como espécimen de prueba | 34 |
| 2.2.1.1 Diseño a resistencia de la columna | 35 |
| 2.2.1.2 Longitud del espécimen | 37 |
| 2.2.1.3 Concreto para el espécimen | 50 |
| 2.2.1.4 Refuerzo con S.C.O. | 56 |
| 2.2.2. Soporte del espécimen | 57 |
| 2.2.3. Formaleta | 60 |
| 2.3. DISEÑO DE LA MAQUINA DE PRUEBA PARA LOS ESPECIMENES | 61 |
| 2.3.1. Marco | 61 |
| 2.3.2. Gatos hidráulicos | 68 |
| 2.3.3. Sistema de medición de la fuerza aplicada | 72 |
| 2.3.4. Apoyos para el espécimen | 73 |
| 3. PRUEBA DE ELEMENTOS Y RESULTADOS | 76 |
| 4. CONCLUSIONES | 94 |
| 5. RECOMENDACIONES | 96 |
| BIBLIOGRAFÍA | 98 |
| ANEXOS | 100 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Sistema compuesto orgánico
- Figura 2. Epoxico
- Figura 3. Esfuerzo vs Deformación
- Figura 4. Columna con estribos
- Figura 5. Columna con refuerzo helicoidal
- Figura 6. Columna con refuerzo compuesto
- Figura 7. Estribo típico del espécimen
- Figura 8. Refuerzo longitudinal del espécimen
- Figura 9. Estructura típica
- Figura 10. Primera idealización
- Figura 11. Segunda idealización
- Figura 12. Tercera idealización
- Figura 13. Fuerza axial
- Figura 14. Fuerza cortante
- Figura 15. Momento flector
- Figura 16. Valores de momento piso cinco
- Figura 17. Valores de momento piso cuatro
- Figura 18. Valores de momento piso tres
- Figura 19. Valores de momento piso dos
- Figura 20. Valores de momento piso uno

- Figura 21. Condición de carga de columna completa
- Figura 22. Condición de carga del espécimen
- Figura 23. Recubrimiento principal del soporte del espécimen
- Figura 24. Refuerzo principal del soporte del espécimen
- Figura 25. Estribos del soporte del espécimen
- Figura 26. Disposición de las carillas de refuerzo del soporte del espécimen
- Figura 27. Formaleta para el espécimen
- Figura 28. Marco
- Figura 29. Apoyos del marco
- Figura 30. Fuerzas del marco
- Figura 31. Momentos del maraco
- Figura 32. Deformaciones del marco
- Figura 33. Gatos hidráulicos
- Figura 34. Calibraciones de los gatos en la maquina TREBEL
- Figura 35. Deformímetros
- Figura 36. Apoyo superior
- Figura 37. Apoyo inferior
- Figura 38. Falla espécimen 1
- Figura 39. Falla espécimen 2
- Figura 40. Anomalía apoyo superior
- Figura 41. Deformación columna
- Figura 42. Falla espécimen 3
- Figura 43. Falla especimenes 5 y 6

LISTA DE GRAFICOS

- Grafico 1. Diagrama interacciona
- Grafico 2. Curva elongación vs carga para los resortes
- Grafico 3. Calibración gato 50 Ton
- Grafico 4. Calibración gato 2 Ton
- Grafico 5. Aplicación carga vertical espécimen 1
- Grafico 6. Aplicación carga horizontal espécimen 1
- Grafico 7. Aplicación carga vertical espécimen 2
- Grafico 8. Aplicación carga horizontal espécimen 2
- Grafico 9. Aplicación carga horizontal espécimen 3
- Grafico 10. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 3
- Grafico 11. Aplicación carga horizontal espécimen 4
- Grafico 12. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 4
- Grafico 13. Aplicación carga horizontal espécimen 5
- Grafico 14. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 5
- Grafico 15. Aplicación carga horizontal espécimen 6
- Grafico 16. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 6
- Grafico 17. Comparación de fuerza y deformación especimenes 5 y 6
- Grafico 18. Comparación de fuerza y deformación especimenes 3 y 4

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Masas por piso
- Tabla 2. Fuerza sísmica por piso
- Tabla 3. Soporte del espécimen
- Tabla 4. Modulo de elasticidad de resortes
- Tabla 5. Granulometría de la arena
- Tabla 6. Valores de calibración gato 50 Ton
- Tabla 7. Valores de calibración gato 2 Ton
- Tabla 8. Valores de falla espécimen 1
- Tabla 9. Valores de falla espécimen 2
- Tabla 10. Valores de falla espécimen 3
- Tabla 11. Valores de falla espécimen 4
- Tabla 12. Valores de falla espécimen 5
- Tabla 13. Valores de falla espécimen 6

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Diagrama de interacción
- Anexo 2. Resultados espécimen 1
- Anexo 3. Resultados espécimen 2
- Anexo 4. Resultados espécimen 3
- Anexo 5. Resultados espécimen 4
- Anexo 6. Resultados espécimen 5
- Anexo 7. Resultados espécimen 6
- Anexo 8. Maquina completa

RESUMEN

TITULO: REFORZAMIENTO DE COLUMNAS CON SISTEMA COMPUESTO ORGANICO *

AUTORES: FUENTES QUINTERO, EFRAIN Y VERA CACHOPO, VIVIANA ANDREA **

PALABRAS CLAVES: MODELO A ESCALA, COLUMNAS, SISTEMA COMPUESTO ORGANICO, REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.

DESCRIPCIÓN:

Las columnas de concreto reforzado, son elementos de gran importancia en una estructural y son las mas afectadas en los eventos sísmicos. En esta investigación se analizaran las columnas de hormigón armado, reforzadas externamente con un sistema compuesto orgánico (S.C.O), material conformado por una malla de fique (fibra de refuerzo) y un pegamento que constituye la matriz de la unión.

El primer paso de la investigación fue el planteamiento de un modelo a escala que con las condiciones estructurales de una columna. posteriormente se elaboraron los modelos de prueba, se construyó la maquina para realizar el experimento y se analizaron los resultados, los cuales fueron satisfactorios pues la resistencia de las columnas reforzadas con S.C.O. aumentó en un cuarenta por ciento (40%) comparados con aquella que no se reforzó.

El capitulo uno hace una descripción teórica de los temas tratados en la como: columnas, manejo de modelos a escala, S.C.O., y otros. En el capitulo dos se explican los diseños y criterios con los cuales fueron elaborados los modelos de prueba y la maquina para el ensayo. En los siguientes capítulos se hace el análisis de los resultados, se elaboran las conclusiones y se dan las recomendaciones para futuras investigaciones.

* Trabajo de investigación

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Programa de ingeniería Civil. CRUZ HERNÁNDEZ, Ricardo Alfredo.

ABSTRACT

TITLE: REINFORCEMENT OF COLUMNS WITH ORGANIC COMPOUNDS SYSTEM*

AUTHORS: FUENTES QUINTERO, Efrain and VERA CACHOPO, Viviana Andrea.

KEYWORDS: SCALE MODEL, COLUMNS, ORGANIC COMPOUND SYSTEM, STRUCTURAL REINFORCEMENT.

DESCRIPTION:

Reinforced concrete columns are crucial elements within a structure and they are the most affected elements in case of earthquake. This investigation analyzes reinforced – concrete columns, which are reinforced externally with an organic compound system (O.C.S.), a material made up of a sisal mesh (reinforcement fibre) and a kind of glue that constitutes the core of the unit.

The first step of the investigation was the planning of a scale model that met the structural conditions of a column. Later, the test models were elaborated, the machine was built to carry out the experiment and the results were analyzed, which were satisfactory because the resistance of the columns reinforced with O.C.S. increased by forty percent (40%) in comparison to the column that was not reinforced.

The first chapter presents a theoretical description of the topics dealt in the investigation like: columns, handling of scales models, O.C.S. and others. The second chapter explains the designs and criteria for the construction of the test models and the machine for the test. The following chapters show the analysis of the results, the conclusions and recommendations for future investigations.

* Investigation work

** Physics – Mechanics Engineering School. Civil Engineering Program. CRUZ HERNÁNDEZ, Ricardo Alfredo.

INTRODUCCION

Con el pasar de los años las edificaciones se van deteriorando debido a varias causas como son por ejemplo el uso continuo, la falta de mantenimiento o siniestros como terremotos o avalanchas. Como respuesta a estos problemas, los ingenieros debemos buscar la manera de rehabilitar las estructuras. Existen diversas formas de rehabilitación, entre las mas conocidas los encamisados, platinas metálicas, fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras sintéticas, y otros.

Los métodos mencionados pueden presentar algunos problemas como el exceso de peso, limitaciones en el uso y accesibilidad de materiales, costos y otros.

El tema de la presente investigación es el reforzamiento de columnas con un sistema compuesto orgánico (malla de fique + epoxico) que además de ser una alternativa para refuerzo externo, es una opción con características favorables, porque es liviano, fácil de conseguir en nuestro medio y económico. El análisis de su comportamiento estructural avalará la viabilidad de su uso.

Esta investigación se desarrollará en varias etapas. Se elaborará el equipo de prueba, se construirán los elementos estructurales a ensayar con la ayuda de la teoría de modelos a escala y reforzados con SCO, se hará la prueba, se analizaran resultados y se obtendrán conclusiones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de columnas de hormigón armado reforzadas con sistema compuesto orgánico (S.C.O.)

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el método de prueba de columnas teniendo en cuenta las condiciones reales de comportamiento de la estructura
- Definir, diseñar y construir los especímenes de prueba
- Definir el sistema compuesto orgánico a utilizar
- Obtener valores que representen el comportamiento y resistencia de columnas reforzadas con S.C.O.

1. MARCO TEORICO

1.1 QUE ES UN SISTEMA COMPUESTO ORGANICO

Un sistema compuesto es la unión de dos o mas materiales, que tienen características diferentes y que al trabajar conjuntamente forman un nuevo material con características propias.

Un sistema compuesto orgánico está formado un material orgánico y un pegamento. Por un lado se encuentra la capa interna o central, que es la parte orgánica (el fique), esta contribuye a la transmisión de esfuerzos y por otro lado las capas externas (el epoxico), que contribuyen en gran proporción con la resistencia del sistema, protegen el material orgánico del medio ambiente y permiten la adherencia del S.C.O. a la estructura.

Al envolver la estructura con el sistema compuesto orgánico, una de las caras del S.C.O. queda directamente adherida con la superficie de la estructura. (Véase figura 1)

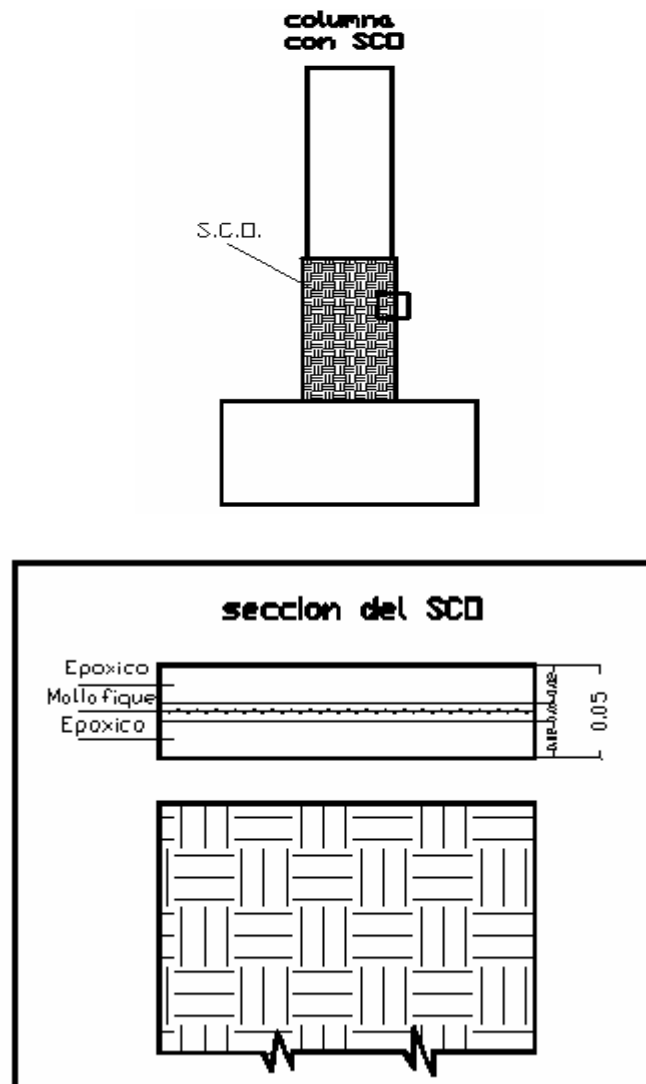


Figura 1. Sistema compuesto orgánico

1.1.1 Materiales compuestos

Al dar un vistazo a la historia se puede notar que los sistemas compuestos han sido una herramienta significativa en la construcción. En la cultura egipcia las construcciones se hacían con una combinación de paja y arcilla; los israelitas

combinaron ladrillos y paja (Sierra, Martínez, 2002); En Colombia también se ha usado madera con arcilla.

En esta investigación se estudia el sistema compuesto orgánico conformado por fique y un epóxico, cada cual material tiene una función específica para aportar en el comportamiento final del sistema.

1.1.2 Fique

El uso del fique según la historia se remonta al siglo XVII donde era explotado por los indios Guanes en Santander (Combariza, Martínez, 1999).

Los Guanes hacían con la fibra alpargatas y costales.

Hoy en día se usan las fibras para fabricar innumerables elementos, sombreros, bolsos, tapetes, adornos, hamacas, y otros.

El fique es obtenido de la planta de fique originaria de la región andina, según la clasificación pertenece a el genero de las Furcraea y se distinguen varias especies siendo las mas cultivadas la Macrophylla, la Cabuya, la Castilla y la Andina (Combariza y Martínez, 1999).

La planta de fique consta de raíces muy largas, el tallo es rugoso, las hojas son verdes y mucho mas largas que anchas, su fruto es de forma capsular, el cual contiene las semillas.

Esta planta puede desarrollarse en cualquier clima, pero su calidad en cuanto a tamaño de las hojas y cantidad de fibras por hoja se ve afectado por factores climáticos. La planta de fique tiene un rendimiento óptimo bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura : De 15°C a 25°C
- Altura sobre el nivel del mar : De 800m a 1800m
- Humedad : 50% a 70%
- Precipitación : 800 mm a 2500 mm

El proceso llevado a cabo para la elaboración de la tela de fique se describe brevemente a continuación:

- Se cortan las hojas de la planta cuando ellas se encuentran en el punto óptimo de maduración.
- Se despulpa la hoja, de este procedimiento depende la calidad de las fibras. Existen varios procedimientos para separar las fibras de las hojas, puede ser a golpes o usando una maquina despulpadora.
- se limpia la fibra de residuos de hoja.
- Se hace el escarmenado, en este paso el material se peina y se termina de limpiar, es aquí donde el fique obtiene una textura suave y es fácil de manejar.

- Se procede con el hilado, las fibras son trenzadas y llevadas a la forma de cabuya.
- Se elabora la madeja
- Se colocan las fibras en un telar, esta labor es manual.
- Se teje la tela en el telar.

1.1.3 Epóxico

Para la investigación se usó un epóxico que tiene dos componentes, con una consistencia pastosa, usado para la pega de todo tipo de elementos que tengan que ver con la construcción, como: prefabricados, vigas, escaleras, baranda, o cualquier otra superficie de cemento, asbesto, acero, hierro, aluminio, cerámica o vidrio. Ver figura 2



Figura 2. Epóxico

La preparación del producto, se hace mezclando los dos componentes ya sea a mano o con un taladro de bajas revoluciones.

Para la aplicación, el producto se esparce con una espátula, con las manos enguantadas, sobre una de las caras de los elementos que se va a pegar, luego las dos caras se presionan fuertemente hasta obtener una pega perfecta.

El rendimiento del producto es aproximadamente de 1.7 Kg/m² por cada mm de espesor.

Los datos técnicos son :

- Colores : Gris
- Consistencia : Pasta blanda, no se escurre
- Densidad : 1.7 Kg/l a 20 °C
- Relación de mezcla : 2 : 1 (En peso y en volumen)
- Vida después de mezclado : a 10 °C 85 minutos, a 20 °C 45 minutos y a 30 °C 25 minutos
- Resistencia a la compresión : a 7 días es 650 Kg/cm²
- Adherencia al concreto : a 7 días es 120 Kg/cm²
- Absorción de agua : a 1 días es 0.25%
- Modulo de elasticidad a los 7 días : 26000 Kg/cm²
- Temperatura mínima : 5 °C

- Temperatura máxima : 40 °C

1.2 MODELOS A ESCALA

En la literatura se encontró diferentes definiciones de modelos a escala:

Según ACI (Comité De Análisis Experimental Para Las Estructuras De Hormigón); los modelos a escala son cualquier representación física de una estructura o una porción de una estructura cuyo modelo se hará por lo general a escala reducida.

Según Janney et al (1970) un modelo es cualquier elemento estructural o conjunto de elementos estructurales construidos a una escala reducida comparado con las estructuras de tamaño completo o real.

Según las definiciones dadas, los modelamientos a escala reducida tienen una amplia trayectoria y abarcan campos muy amplios desde ingeniería civil hasta ingeniería aeroespacial. Estos modelamientos incluyen desde cargas estáticas y térmicas hasta cargas de viento y dinámicas.

Los modelos a escala son de gran importancia, porque :

- Al usar escalas reducidas de los elementos a estudiar, se produce una reducción de la magnitud de las cargas, que son mucho mas fáciles de

aplicar y de manejar.

- Los costos de los elementos se reducen, pues son menos los materiales y la mano de obra que se emplea.
- Estos modelos se vuelven una herramienta importante cuando los modelos analíticos son complejos matemáticamente.
- La investigación en cuanto a la mejora tanto en calidad y resistencia de nuevos materiales o combinaciones de los materiales existentes, exige una comprobación y un estudio experimental.

1.2.1 Reseña histórica de los modelos a escala.

Los modelos a escala han sido utilizados hace muchos años por los ingenieros y constructores; aunque el uso que se le dio, no es el mismo de hoy en día.

En tiempos pasados, los modelos eran usados para ayudar a planear y construir estructuras, tenían uso arquitectónico y no estructural, es decir, no eran usados para predecir las deformaciones y fuerzas que reciben las estructuras reales.

1.2.2 Clasificación de los modelos a escala

Existen diversas formas de clasificar los modelos a escala; según su función se pueden clasificar en:

- Modelo elástico

Este modelamiento tiene un parecido geométrico al prototipo, pero el material no tiene que ser obligatoriamente el del prototipo. Pero los materiales deben cumplir con la homogeneidad y elasticidad que el modelo requiere.

Este tipo solamente es para el uso en el rango elástico, no debe ser usado el rango inelástico.

- Modelo indirecto

Este tipo de modelamiento es una forma del modelamiento elástico, usado para obtener diagramas de influencia para las reacciones. La carga aplicada no tiene ninguna correspondencia a la aplicada realmente en el prototipo, pero las cargas verdaderas se logran a partir de una superposición de los valores de influencia.

El uso de este tipo de modelado antes de la computadora, era bastante amplio, pero ahora su uso es poco, debido a que el análisis elástico, es realizado perfectamente por una computadora.

- Modelo directo

Como el nombre lo indica, este modelo es similar tanto en geometría como en aplicación de carga del prototipo. Los resultados de las pruebas son similares a las esperados en los elementos reales.

- Modelo de fuerza

También llamado ultima fuerza o modelo realista o replica. Este es un tipo de modelamiento directo porque los materiales usados en el modelo son similares a los del elemento real, las cargas aplicadas llevaran al fracaso el modelo construido. En este tipo de modelo entran las estructuras de hormigón, acero y madera, etc.

- Modelo efectos de viento

Las fuerzas de viento presionan la estructura, el modelo se planea para poder medir las tensiones de viento y deformaciones, además del comportamiento estructura – efectos de viento.

- Modelos dinámicos

Este tipo de modelamiento es usado para estudiar la vibración o dinámica de las estructuras por efecto de las cargas aplicadas. En este tipo de modelamiento se analizan los terremotos.

Existen mas clases de modelos, de menos uso y por tanto menos desarrollados.

1.2.3 Pasos a tener en cuenta en el proceso de modelado

Aunque el avance informático en la ingeniería es bastante grande, todavía no se pueden predecir con exactitud el fracaso de muchos sistemas estructurales, sobre todo bajo cargas complejas.

Una motivación para el uso de las escalas reducidas es el costo, usar modelos a escala reduce la capacidad del equipo necesario y reduce los costos en cuanto a la fabricación de la estructura de prueba.

Al comparar los modelos físicos con los modelos analíticos encontramos que los modelos analíticos normalmente son menos caros y menos demorados para obtener una respuesta; además muchas veces no se puede esperar para obtener una respuesta por medio de los modelos físicos, cuando los modelos analíticos nos pueden dar una respuesta del comportamiento bastante acertada.

Básicamente los modelos físicos se usan en situaciones en que un análisis matemático no es suficientemente confiable.

Casi siempre la decisión de ir a un estudio físico se toma en el último minuto, después que se demuestra que una respuesta analítica no es suficiente. Es natural que un ingeniero que está acostumbrado a estudiar modelos analíticamente vacile en tomar la decisión de recurrir a los modelos a escala.

Los modelos estructurales son empleados ampliamente para la investigaciones y aplicaciones como:

1. Desarrollo de datos experimentales para la comprobación de datos analíticos.
2. Estudio de conductas básicas de estructuras complejas
3. Conducta de sistemas estructurales sujetos a historias de cargas complejas.
4. Desarrollo de nuevos sistemas estructurales

1.2.4 Estadística de los modelos a escala

Se ha demostrado que el análisis de un espécimen estructural puede ser considerado como un proceso que reúne una sucesión de cinco pasos, a saber :

1. Plantación
2. Fabricación
3. Cargado
4. Datos obtenidos
5. Extrapolación de datos a las estructuras reales .

Entre los tipos de error que se pueden encontrar están los siguientes:

- Las equivocaciones

Estos errores no tienen ningún lugar en los experimentos científicos. Estos errores deben eliminarse con el cuidado y repetición de las medidas. Los errores de equivocaciones serian:

- Uso de lógica incorrecta en el análisis
- Cometer un error de carga
- Tomar o escribir mal los datos

- Errores aleatorios

Son errores que no siempre ocurren, y suceden por la unión de varias circunstancias que se presentan sin planearse.

- Errores sistemáticos

Son errores de magnitud constante, a los que simplemente se les puede hacer una corrección y hacer desaparece tal error.

Existe hoy en día una teoría bastante extensa que permite al ingeniero hacer un informe cualitativo lógico de la conducta de un sistema estructural que está influenciado por eventos aleatorios.

Una técnica bastante usada se presenta a continuación:

La función de probabilidad normal

La ecuación matemática para la función de densidad normal es :

$$P(X) = \frac{1}{\delta * (2*\Pi)^{1/2}} * e^{-[(X-\mu)^2/(2*\Pi^2)]}$$

Donde :

X = Variable aleatoria

P(X) = La función de densidad de probabilidad

M = Media o promedio de todos los valores del conjunto

δ = Es una medida de dispersión sobre el valor de la media, conocido como la desviación de distribución del conjunto entero y denotado por "S" cuando se refiere a la desviación normal de cualquier muestra finita.

La ecuación de la media es:

$$X = \frac{\sum x_i}{n}$$

La ecuación de la desviación normal es :

$$S^2 = \left(\frac{\sum (x_i - X)^2}{n} \right)$$

La ecuación de la varianza es :

$$S = \left(\frac{\sum (x_i - X)^2}{n} \right)^{1/2}$$

Entonces la función de probabilidad oscila entre 0 y 1 así :

$$0 \leq \int p(X)dx \leq 1$$

La grafica de la función de probabilidad es de la forma de campana de Gauss.

1.2.5 Modelos de concreto reforzado

El éxito de los modelos de hormigón estructural depende en gran medida de la exactitud con que el modelador pueda simular la estructura real.

Para la estructura real, el hormigón usado es una combinación de cemento, agua, agregados grueso y fino; mientras que para el hormigón del modelo normalmente consiste en agregado fino; a veces arena gruesa o piedra aplastada, concreto y agua.

Los agregados más comunes son piedra aplastada, arena gruesa. Con frecuencia se usan para los modelos otra clase de materiales por ejemplo esquistos, pizarras y arcilla, haciendo que el hormigón del espécimen sea ligero. Al comparar las gravedades específicas de los materiales podemos ver grandes diferencias; por ejemplo las gravedades de las arenas gruesas oscilan entre 2.7; mientras que para los esquistos esta entre 1.7.

En cuanto al tamaño máximo, se establece que no hay una regla universalmente aceptada para determinar tal tamaño; pero se recomiendan.

El ACI recomienda de 10 a 150 mm, el mas usado en la construcción es del rango de 20 a 40 mm.

La Norma Colombiana Sismo Resistente (NSR – 98), recomienda que los siguientes tamaños máximos de agregados, que no debe ser mayor a:

- $1/5$ de la dimensión menor de los lados de la formaleta
- $1/3$ del espesor de las losas
- $3/4$ del espaciamiento libre mínimo entre las barras o alambres individuales del refuerzo

Según la literatura existente sobre modelamientos, los rangos usados para el tamaño máximo de los modelos a escala muestra que se encuentra en un rango de 15 a 6 mm para cuando se usan escalas de $1/2$ a $1/3$ o 4.7 mm para escalas de $1/6$ a $1/10$.

El cemento usado en la realidad puede ser el mismo que se use en el modelo.

El agua puede ser la misma usada para el consumo humano.

El hormigón de las estructuras reales normalmente no puede ser reemplazado por cualquier otro material en cuanto a modelos de fuerza.

Las propiedades del hormigón depende de varios factores importantes como lo son :

- Relación Agua-cemento

- La proporción del cemento-agregado.
- La naturaleza de los agregados, es decir, tamaño, dureza, la gradación, la porosidad, la textura de la superficie, etc.
- El Tipo de cemento
- La historia del tiempo de humedad disponible para la reacción con el cemento, e historia del tiempo de la temperatura durante este periodo de curado
- La edad a probar.
- El tipo de tensión causado por la carga aplicada: la tensión y doblado
- La duración de la carga.
- Entre otras

El efecto de estos factores y su interacción no es entendida completamente; por tanto es difícil reemplazar el hormigón para el modelo.

El Hormigón de la estructura real

Se considera que la fuerza de compresión de confinamiento es la propiedad mas importante del hormigón estructural.

La curva del esfuerzo - Deformación es bastante lineal en los niveles de tensión bajos; y el módulo de elasticidad E , normalmente se toma como la cuesta de la

tangente que pasa por el origen de la curva esfuerzo - deformación. (Véase figura 3).

Existen varias expresiones de módulos de elasticidad que podrían tomarse, si no se cuenta con la información directa tomada de ensayos de los materiales. El ACI en el código 318 – 95 propone el uso de la expresión siguiente:

$$E_c = 33 \times (W)^{1.5} \times (F'_c)^{0.5}$$

Donde :

- W = Es el peso de la unidad del hormigón en libras por pie cúbico.
- J = Es la fuerza de compresión en libras por pulgada cuadrada (PSI)
- E = modulo de elasticidad en libras por pulgada cuadrada

En el sistema internacional la expresión es :

$$E_c = 0.043 \times (W)^{1.5} \times (F'_c)^{0.5}$$

Donde :

- W = Es la densidad de masa del concreto en Kilogramos por metro cúbico (Kg/m³)

- J = Es la fuerza de compresión en Mega pascales (MPa)
- E = modulo de elasticidad en Mega pascales (Mpa)

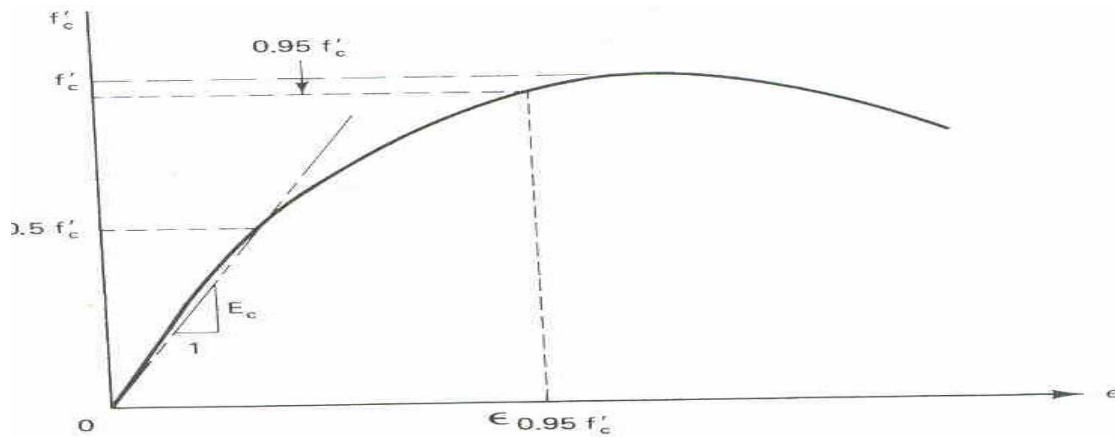


Figura 3. Esfuerzo vs. Deformación

Según la Norma Colombiana Sismo – Resistente (NSR – 98) C.8.5.4, deben tomarse las siguientes ecuaciones en caso de no poder determinarse de forma experimental

- Para agregado grueso de origen ígneo

$$E_c = 0.047 \times (W)^{1.5} \times (F''c)^{0.5} \quad \text{MPa}$$

- Para agregado grueso de origen metamórfico

$$E_c = 0.041 \times (W)^{1.5} \times (F''c)^{0.5} \quad \text{MPA}$$

- Para agregado grueso de origen sedimentario

$$E_c = 0.031 \times (W)^{1.5} \times (F''c)^{0.5} \quad \text{MPA}$$

- O se puede usar un valor medio

$$E_c = 0.034 \times (W)^{1.5} \times (F''c)^{0.5} \quad \text{MPA}$$

El Hormigón del modelo

La respuesta del hormigón del modelo a la carga de compresión externa es muy importante; debido a que la respuesta de los materiales del modelo se correlacionan con la estructura real.

Por tal motivo debe diseñarse el concreto del modelo cuidadosamente, no solo para simular las fuerzas de la curva esfuerzo-deformación, si no también otras propiedades importantes como la fuerza de tensión, y otros.

Entonces, debe escogerse las propiedades de la mezcla que asegure las propiedades mecánicas similares a la estructura o miembro que se desee representar.

El cemento es el mismo tanto para el miembro a estudiar, como para el modelo. La diferencia está en los agregados.

Usualmente, para el modelo, el agregado máximo se usa a escala con el de la estructura real; pero en algunos casos se tiene que poner el 10% menos del agregado que pasa el tamiz # 100 que se debería poner de acuerdo a la escala, esto es, para prevenir el uso de proporciones elevadas de agua-cemento.

La tarea mas difícil para el estudio de modelos es la elección del la mezcla de concreto; esto puede significar el fracaso o el éxito de varios meses o años de trabajo.

1.2.6 Refuerzo de los modelos a escala en concreto reforzado

Usualmente para reforzar el hormigón estructural se usan barras de acero y cables.

Las propiedades que deben tenerse en cuenta para el refuerzo son:

- Última fuerza de tensión y compresión

- Forma de la curva de esfuerzo – deformación
- Ductilidad
- Características de acero – hormigón

Se puede seguir una clase de esquema al momento de escoger el refuerzo del modelo así:

- El proceso de selección del refuerzo del modelo, se inicia con la curva de esfuerzo-deformación de la estructura real.
- Elegir el acero, si el alambre requerido no es comercial, entonces buscar el que mas se le parezca.
- Al acero se le deben hacer pruebas como deformación, calentamiento, entre otras a cualquiera que sea el acero que se vaya a usar.
- Por último se debe tratar de emparejar las características requeridas con las del acero a usar. Es decir comparar las graficas de esfuerzo-deformación tanto del prototipo como del modelo.
- Todos estos pasos son verdaderamente importantes y de gran interés para los ensayos de laboratorio, además de tener unas bases para determinar estadísticamente el grado de confiabilidad.

Después de elegir el acero cuidadosamente, entonces debe tenerse en cuenta las características mas importantes de similitud en cuanto a adherencia de los materiales del hormigón así:

- El uso de barras normalmente deformables y corrugadas no asegura la verdadera adherencia que se planea porque existe diferencia entre la fuerza de adherencia entre las barras pequeñas y las grandes.
- Planear la adherencia es tremendamente complicado debido al poco conocimiento del funcionamiento de adherencia del prototipo.

1.2.7 Recomendaciones para el estudio de modelos a escala

1. Definir el alcance del problema, decidiendo lo que se necesita y lo que puede despreciarse.
2. Debe especificarse que tanto deseamos que sea la similitud del modelo al prototipo en cuanto a geometría, materiales, carga e interpretación de resultados.
3. Decidir el tamaño del modelo.
4. Hacer estudios a los materiales a usar según el grado de conocimiento que se tenga sobre ellos.
5. Debe planearse la fase de fabricación en la parte de consulta o fases preliminares del proyecto, para evitar la improvisación.
6. Debe tenerse toda la instrumentación que se necesita, en buen estado (de

medición de fuerza, desplazamientos, etc.)

7. Preparar el equipo cargante, los nuevos sistemas deben comprobarse completamente y calibrarse antes de su uso.

8. Observar la respuesta de los modelos antes, durante y después de cargar, debe tomarse fotografías. Nunca se debe apresurar la prueba y tampoco se debe dejar nada a la memoria. Algunos investigadores usan cintas o cámaras de video para poder grabar los comentarios detallados e informaciones que pueden ser difíciles de escribir numéricamente. Deben hacerse cálculos aproximados antes del experimento para estimar valores de respuesta.

Cuando los datos son tomados manualmente y son muchos, se deberían seguir las siguientes recomendaciones:

- a. Preparar hojas con columnas donde aparezca la fecha, nombre del personal que participa en la prueba, nombre de la prueba.
- b. Registro de las lecturas directamente, y no intentar reducir los datos de ninguna forma
- c. Registrar las lecturas de cero, permitiendo por lo menos dos líneas de espacio desde el cero registrado, debe tomarse por lo menos dos

lecturas.

- d. Dejar espacios adyacentes a las columnas para escribir de forma reducida los datos obtenidos.
- e. Tomar las lecturas a los mas bajos incrementos de carga que se pueda cuando el modelo se acerque al fracaso.
- f. Tomar las lecturas cuando los modelos fracasen realmente, así el nivel de exactitud no sea el mas alto; las lecturas aproximadas pueden dar una idea buena de la conducta del modelo.
- g. Tomar la última lectura cuando la carga este bien alejada de los datos que podemos necesitar, esto por seguridad.
- h. Realizar un análisis de los datos y escribir un informe lo mas pronto posible, mientras todavía la prueba completa esté fresca en la mente. Además de informar los resultados, deben grabarse sugerencias para mejorar las técnicas y mejorar los datos obtenidos en los experimentos subsiguientes.

La mayoría de los pasos anteriores son obvios y de sentido común, pero muchas

veces por diferentes razones se omiten.

Además se debe tener en cuenta varias leyes para pensar sobre las dificultades del trabajo experimental:

La Ley de Murphy: Si algo puede salir mal, saldrá.

La Ley de O'Toole: Murphy es extremadamente optimista.

1.3 TEORIA DE COLUMNAS

Definición :__ Se llama columnas a aquellos elementos que sostienen cargas a compresión y cuyas dimensiones transversales son pequeñas en comparación con su longitud en el sentido de la fuerza axial o de compresión.

Tipos de columnas

El concreto sin refuerzo (o concreto simple) no se usa para esta clase de elementos. Generalmente las columnas constan de acero longitudinal (va en dirección del elemento) y acero transversal (Perpendiculares al acero longitudinal). De esta característica se parte para definir la clase de columnas que se describen a continuación:

- Columnas con estribos: Tiene las varillas longitudinales sujetas a aceros transversales llamados flejes o estribos a determinadas distancia una de otra. Ver Figura 4

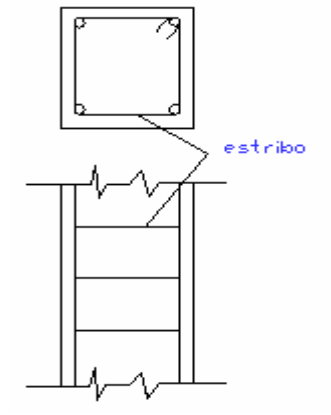


Figura 4. Columna con estribos.

- Columnas con refuerzo helicoidal: Contiene las varillas longitudinales envueltas en una hélice con espacio de vuelta en vuelta pequeño, esta hélice puede ser alambroón o acero de diámetro pequeño, esto reemplaza el estribo de la clase de columna anterior. Figura 5

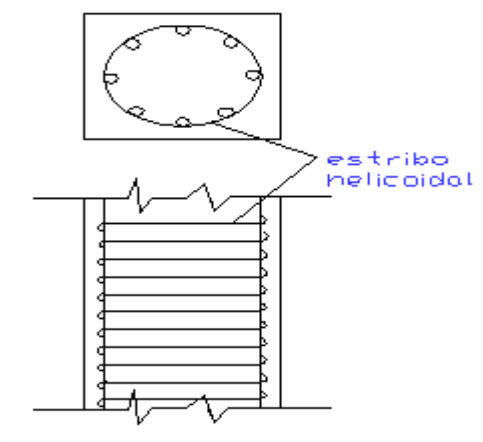


Figura 5. Columna con refuerzo helicoidal

- Columnas compuestas : Se compone de un miembro de acero estructural en el medio, acompañado por acero longitudinal y acero en forma de hélice.

Figura 6.

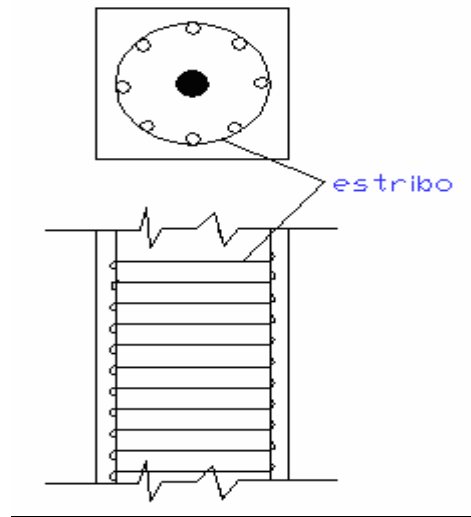


Figura 6. Columna con refuerzo compuesto

- Columnas combinadas: Están compuestas por acero estructural, que lleva un recubrimiento en concreto y malla de alambre soldada.

1.3.1 Columnas cortas

La resistencia de esta clase de columnas se rige por dos principios: Resistencia de los materiales y geometría de la sección transversal.

Las columnas de concreto, necesariamente deben ser reforzadas. Aunque la resistencia principal que deben soportar es axial (compresión), en casi todas las ocasiones esta carga no es pura y el acero de refuerzo es esencial para resistir los

efectos de flexión. Además arquitectónicamente, es útil que a más refuerzo de acero, las dimensiones de la sección transversal disminuirán, y esto significa ganancia de espacio.

En las columnas de este tipo; las cargas son bajas, es decir cuando los materiales se encuentran en el intervalo elástico de respuesta, el acero toma una porción pequeña de la carga total. A medida que la carga se acerca a la falla, ocurre una redistribución de cargas, y el acero pasa a tomar la mayor parte de la carga total.

Los diseños de columnas basan su teoría principalmente, para que en el momento de falla de la columna, es decir, cuando es aplicada la carga de falla, la cantidad de acero debe ser tal que falle al mismo tiempo al que falla el concreto .

Durante el proceso de diseño, se tiene en cuenta una pequeña excentricidad, que no es muy significativa, debido que para ninguna columna se garantiza que la carga aplicada sea completamente céntrica.

La mayoría de las columnas pertenecen a esta categoría.

1.3.2 Columnas esbeltas

En esta clase de columnas, la resistencia se ve afectada significativamente por los efectos de longitud vs. Sección transversal.

A la par con el avance tecnológico de las computadoras, que permiten hacer análisis mas detallados a los elementos estructurales, las columnas de este tipo están cobrando gran importancia.

Las columnas que pertenecen a esta categoría son cuyas alturas son mucho mayores que las dimensiones de la sección transversal.

Cuado se comparan las resistencias de dos columnas, similares, la única diferencia es su longitud, la resistencia en la columna mas larga (columna esbelta), se disminuye considerablemente.

La NORMA COLOMBIANA SISMO - RESISTENTE (NSR – 98), trata este tema, tanto métodos complejos, como métodos simplificados de análisis (C.10).

2. DISEÑOS

2.1 DISEÑO DEL ENSAYO DE PRUEBA

Para saber la viabilidad del S.C.O como refuerzo externo de columnas de concreto, fue necesario pensar en cada uno de los elementos que ayudarían a tener una respuesta.

Lo primero que se hizo fue plantear los criterios que se tendrían en cuenta para hacer el espécimen. Seguido a ello se pensó la máquina para ensayar los elementos de prueba, pues la universidad no contaba con esta herramienta y era de vital importancia.

En este capítulo se muestran todos los diseños necesarios para llevar a cabo la investigación.

2.2 DISEÑO DE ESPECIMENES DE PRUEBA

Para este diseño se tuvieron en cuenta varios aspectos importantes, en primer lugar se debía clasificar el espécimen de prueba dentro de los modelos a escala, revisar los criterios que según la clasificación influirían para el elemento de prueba resultante, se hizo el diseño normal de una columna, teniendo en cuenta la Norma Colombiana Sismo-Resistente.

El diseño del espécimen se divide en dos partes, el diseño de un soporte que garantice el empotramiento y el análisis de resistencia que cualquier columna debería tener.

2.2.1 Columna como espécimen de prueba

Se pensó en un modelo a escala por varias razones :

- Los costos se redujeron enormemente tanto en la mano de obra y materiales como en los costos que involucraban la fabricación del equipo.
- Mas fácil la manipulación tanto de los especímenes de prueba como de la aplicación de cargas.

Según la teoría de los modelos a escala, y las necesidades de esta investigación, este modelo clasifica en los modelos de fuerza, también llamado de última fuerza, realista o réplica, porque según esta clase de modelos, tanto la geometría como los materiales usados en los especímenes de prueba son similares a los del prototipo. Además lo que se quiere es que estos elementos de prueba lleguen hasta la falla.

Una columna típica en nuestro medio es aquella de sección de treinta por treinta centímetros (30 x 30 cm) y de tres metros de longitud. La escala que se eligió fue de 1/3 escala reducida, por lo que el tamaño de la sección fue de 10 x 10 cm.

2.2.1.1 Diseño a resistencia de la columna

La cuantía mínima contemplada en la norma para elementos reforzados esta en el rango de $0.01 < \rho < 0.06$ (C.21.4.3 NSR98)

Usando 4 varillas de 6mm y con la sección recta definida de 10 x 10 cm

$$\rho = \frac{4 * (0.2827)}{(10) * (10)} = 0.0113 ; Cb = 9 \left(\frac{6120}{6120 + 2800} \right) = 6.17 \text{ cm} ; a = Cb * 0.85 = 6.17 * 0.85$$

$$a = 5.25 \text{ cm} ; Fst = 6120 * \left(\frac{9 - 5.25}{5.25} \right) = 2807 ; Fsc = 6120 * \left(\frac{5.25 - 1}{5.25} \right) = 5128.10$$

Carga axial

$$Pn = (0.85 * (f'c) * a * b) + (As_t * fs_t) - (As_c * fs_c)$$

$$Pn = (0.85 * (210) * 5.25 * 10) + (.5654 * 2800) - (.5654 * 2800) \\ = 9368.85 \text{ kgf}$$

Momento

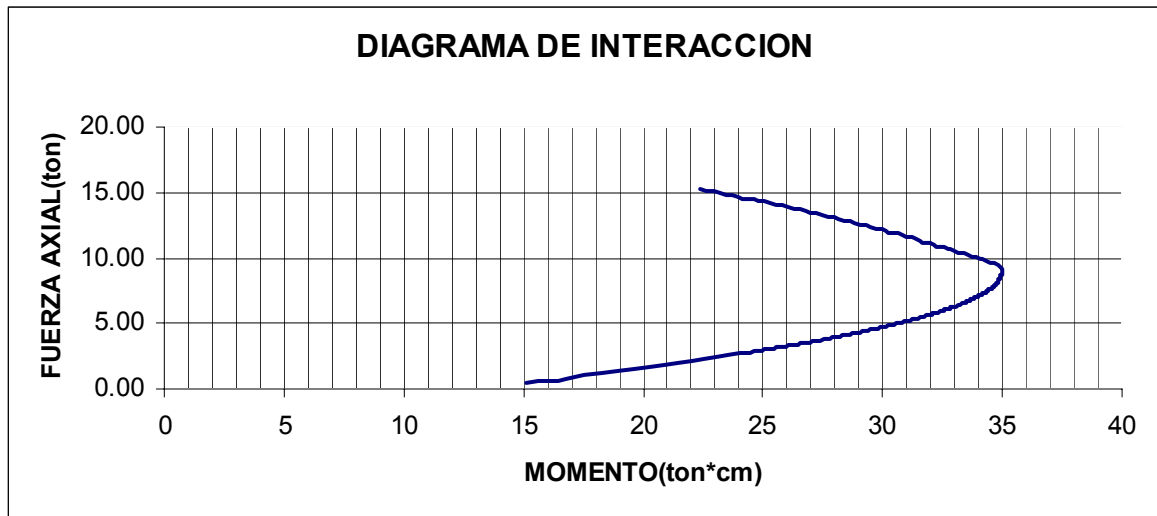
$$Mn = Pn * e = (0.85 * (f'c) * a * b) \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + (As_t * fs_t) \left(\frac{h}{2} - d' \right) + (As_c * fs_c) \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$Mn = Pn * e = (0.85 * (210) * 5.25 * 10 * \left(\frac{10}{2} - \frac{5.25}{2} \right) + (0.5654 * 2800) \left(\frac{10}{2} - 1 \right) + (0.5654 * 2800) \left(9 - \frac{10}{2} \right)$$

$$Mn = 34922.28 \text{ kgf*cm}$$

$$34922.28 \text{ kg*cm} / 46 \text{ cm} = 759.18 \text{ kgf.}$$

Se Necesita un gato lateral con capacidad mínima de 0.7 Ton que induzca el momento de 34922.28 Kgf*cm



Grafica 1. Diagrama de interacción

En el anexo 1 se presenta la tabla de valores del diagrama

DESPIECE

REFUERZO A CORTANTE

Alambrón de 4mm, $F_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$, Estribos @ 10cm, Longitud total=39cm

Estribo columna

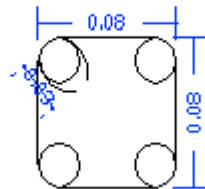


Figura 7. Estribo típico del espécimen

REFUERZO A FLEXION Y CARGA AXIAL

Acero grafilado 6mm

$F_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

de varillas por columna = 4

Longitud total = 76cm

Varilla longitudinal



Figura 8. Refuerzo de longitudinal del espécimen

2.2.1.2 Longitud del espécimen

Se analizó una estructura real, de cinco pisos y cuatro pórticos de cada sentido, tanto las vigas como la columnas tenían secciones transversales de 30 x 30 cm (ver figura 9). El método de estudio fue analizar el comportamiento de cada una de las columnas y mirar en que parte de cada una de ellas se encontraba el punto cero del momento o punto de inflexión. A continuación se presenta el análisis:

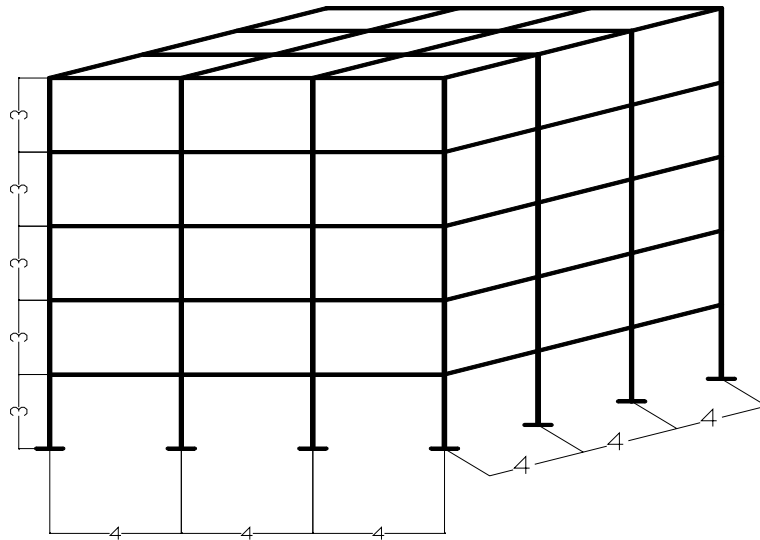


Figura 9. Estructura típica

Fuerza horizontal equivalente

- LOCALIZACION: Bucaramanga
- DEFINICION DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO
 Coeficiente de aceleración (A_a): 0.25 alta
 Tipo del perfil de suelo: S2
 Coeficiente de sitio (s): 1.2
 Grupo de uso: I Estructuras de ocupación normal
 Coeficiente de importancia: 1.00
- VALORES DE ACELERACION:

$$T < T_c \quad S_a = 2.5 \times A_a \times I = 0.625$$

$$T < T_c < T_L \quad S_a = (1.2 \times A_a \times S \times I) / T = 0.36 / T$$

$$T > T_L \quad S_a = A_a \times I / 2 = 0.125$$

- EVALUACION DE MASAS:

PISO5

| | VIGAS | COLUMNAS | PLACA |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| LONGITUD | 196.8 | 21.6 | |
| AREA | 0.09 | 0.09 | 123.21 |
| VOLUMEN | 17.712 | 1.944 | 24.642 |
| MASA | 42508.8 | 4665.6 | 59140.8 |

PISO4

| | VIGAS | COLUMNAS | PLACA |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| LONGITUD | 196.8 | 43.2 | |
| AREA | 0.09 | 0.09 | 123.21 |
| VOLUMEN | 17.712 | 3.888 | 24.642 |
| MASA | 42508.8 | 9331.2 | 59140.8 |

PISO3

| | VIGAS | COLUMNAS | PLACA |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| LONGITUD | 196.8 | 43.2 | |
| AREA | 0.09 | 0.09 | 123.21 |
| VOLUMEN | 17.712 | 3.888 | 24.642 |
| MASA | 42508.8 | 9331.2 | 59140.8 |

PISO2

| | VIGAS | COLUMNAS | PLACA |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| LONGITUD | 196.8 | 43.2 | |
| AREA | 0.09 | 0.09 | 123.21 |
| VOLUMEN | 17.712 | 3.888 | 24.642 |
| MASA | 42508.8 | 9331.2 | 59140.8 |

PISO1

| | VIGAS | COLUMNAS | PLACA |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| LONGITUD | 196.8 | 64.8 | |
| AREA | 0.09 | 0.09 | 123.21 |
| VOLUMEN | 17.712 | 5.832 | 24.642 |
| MASA | 42508.8 | 13996.8 | 59140.8 |

Tabla 1. Masas por piso

- PERIODO FUNDAMENTAL:

$$T_a = C_t(h_n)^{3/4} = 0.618883; \text{ con } C_t = 0.08 \text{ y } h_n = 15.3$$

- Cortante Basal

$$S_a = 0.625$$

Cortante V_s :

$$V_s = 0.625 * (9.81 \text{ m/s}^2) * (554904) = 3402255.15 \text{ N} \dots \dots \dots 34002.26 \text{ Ton}$$

- Fuerzas sísmicas por nivel:

$$F_j = C_{vj} * V_s \quad C_{vj} = (m_j * h_j^k) / \text{total}(m * h)$$

| NIVEL j | Hj (m) | Mj (kg) | Mj X Hj^k | Cvj | Fj (KN) | Vj(KN) |
|----------------|--------|----------|------------|------------|------------|------------|
| QUINTO | 15.3 | 106315.2 | 1626622.56 | 0.32728539 | 1113.50839 | 1113.50839 |
| CUARTO | 12 | 110980.8 | 1331769.6 | 0.26795935 | 911.666087 | 2025.17448 |
| TERCERO | 9 | 110980.8 | 998827.2 | 0.20096951 | 683.749565 | 2708.92404 |
| SEGUNDO | 6 | 110980.8 | 665884.8 | 0.13397968 | 455.833043 | 3164.75709 |
| PRIMERO | 3 | 115646.4 | 346939.2 | 0.06980607 | 237.498065 | 3402.25515 |
| Totales | 15.3 | 554904 | 4970043.36 | 1 | 3402.25515 | |

Tabla 2. Fuerza sísmica por piso

La evaluación de cargas sísmicas se hará con el software Sap2000

Se idealizó la estructura de tres formas diferentes para probar que los resultados fueran parecidos, así

1. Primera idealización

Esta idealización consistió en estudiar un solo pórtico, dividiendo las cargas sísmicas en cuatro, por ser cuatro los pórticos en cada sentido.

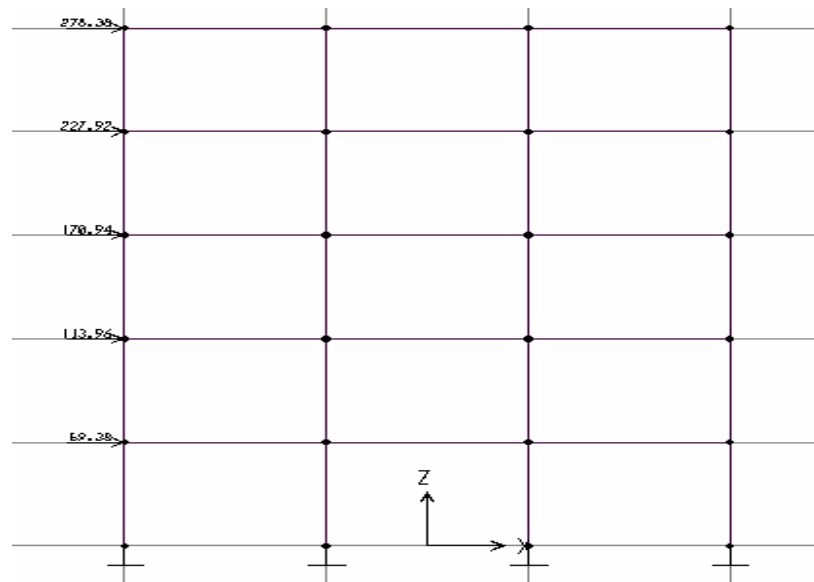


Figura 10. Primera idealización

2. Segunda idealización

Consistió en analizar los cuatro pórticos que se encuentran del mismo sentido, colocándolos uno al lado del otro, pero uniéndolos por medio de vigas rígidas. Las cargas se colocaron en uno de los extremos y completas por piso.

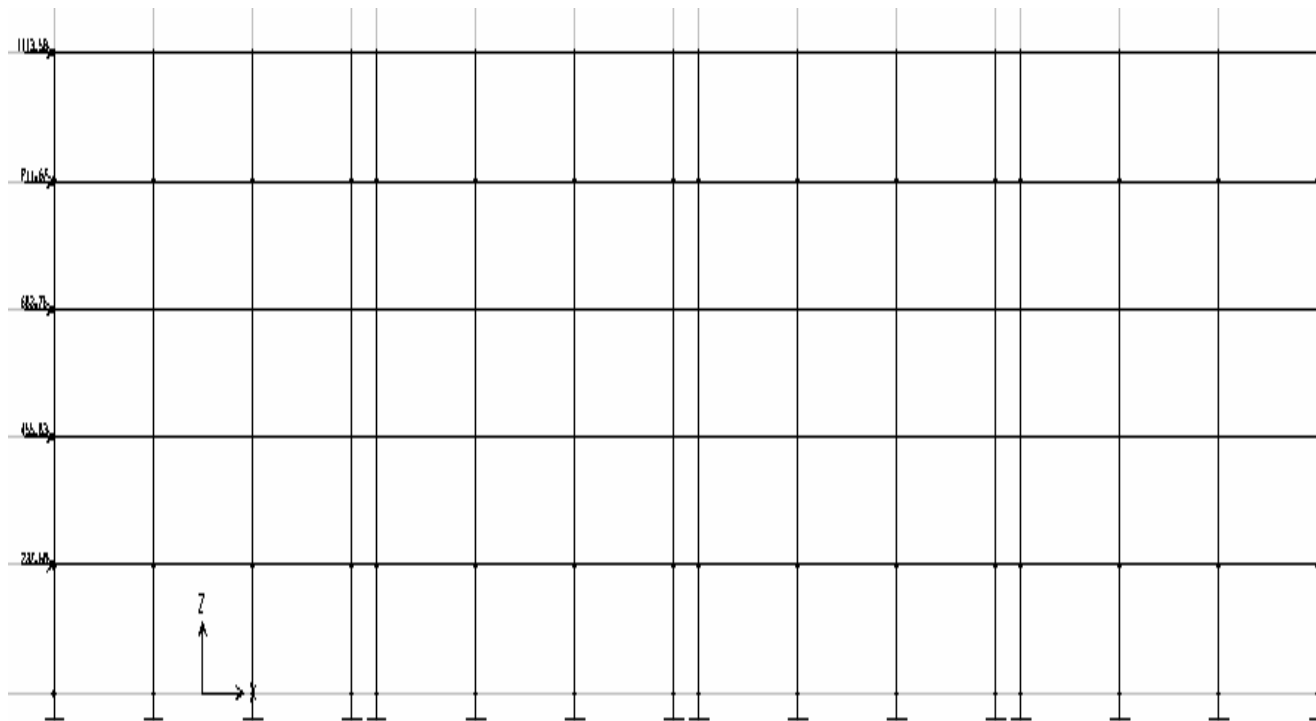


Figura 11. Segunda idealización

3. Tercera idealización

Esta forma consistió en estudiar la estructura de forma tridimensional (lo más cercano a la realidad). Las cargas se colocaron completas y de un lado de la estructura, en todo el centro de la longitud de las vigas.

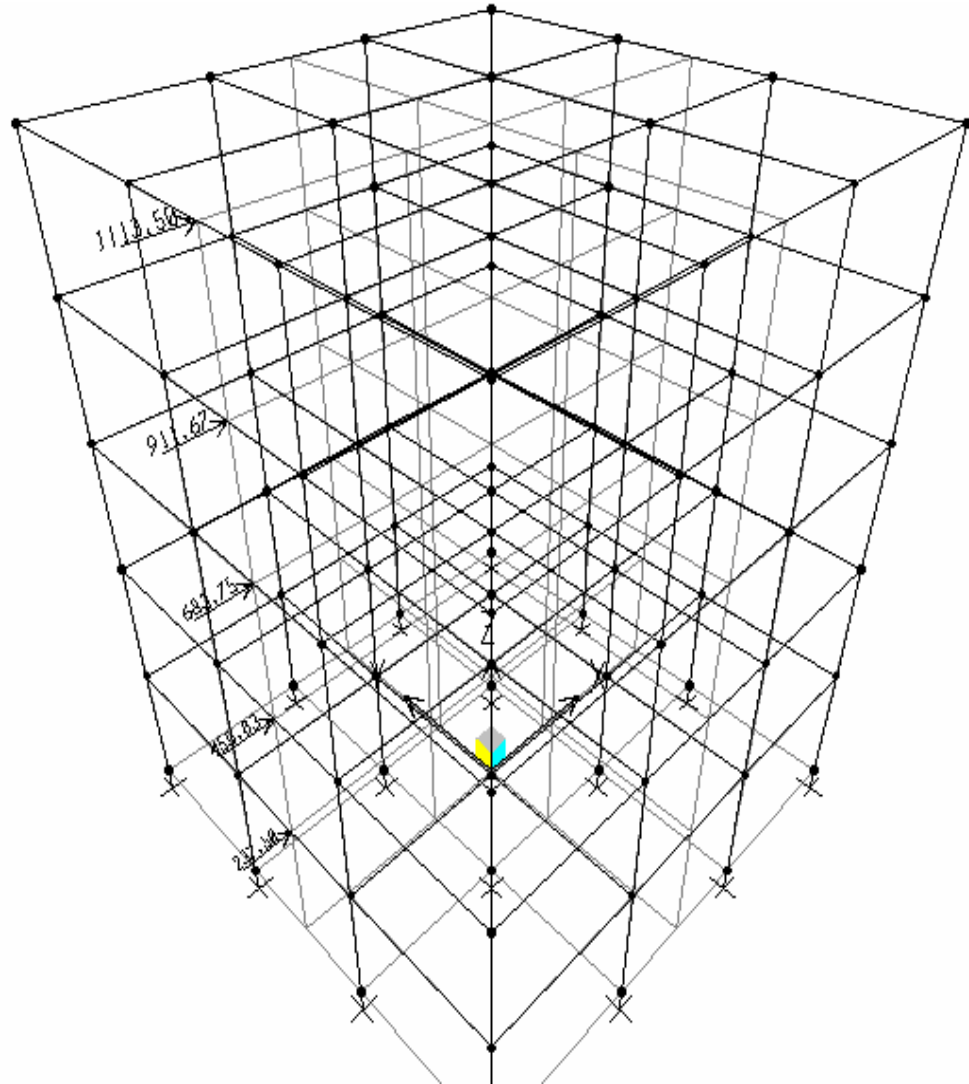


Figura 12. Tercera idealización

Después de introducir los datos de la estructura a el software, los resultados de las tres idealizaciones arrojaron resultados bastante parecidos. Únicamente se presentan los resultados de la primera idealización.

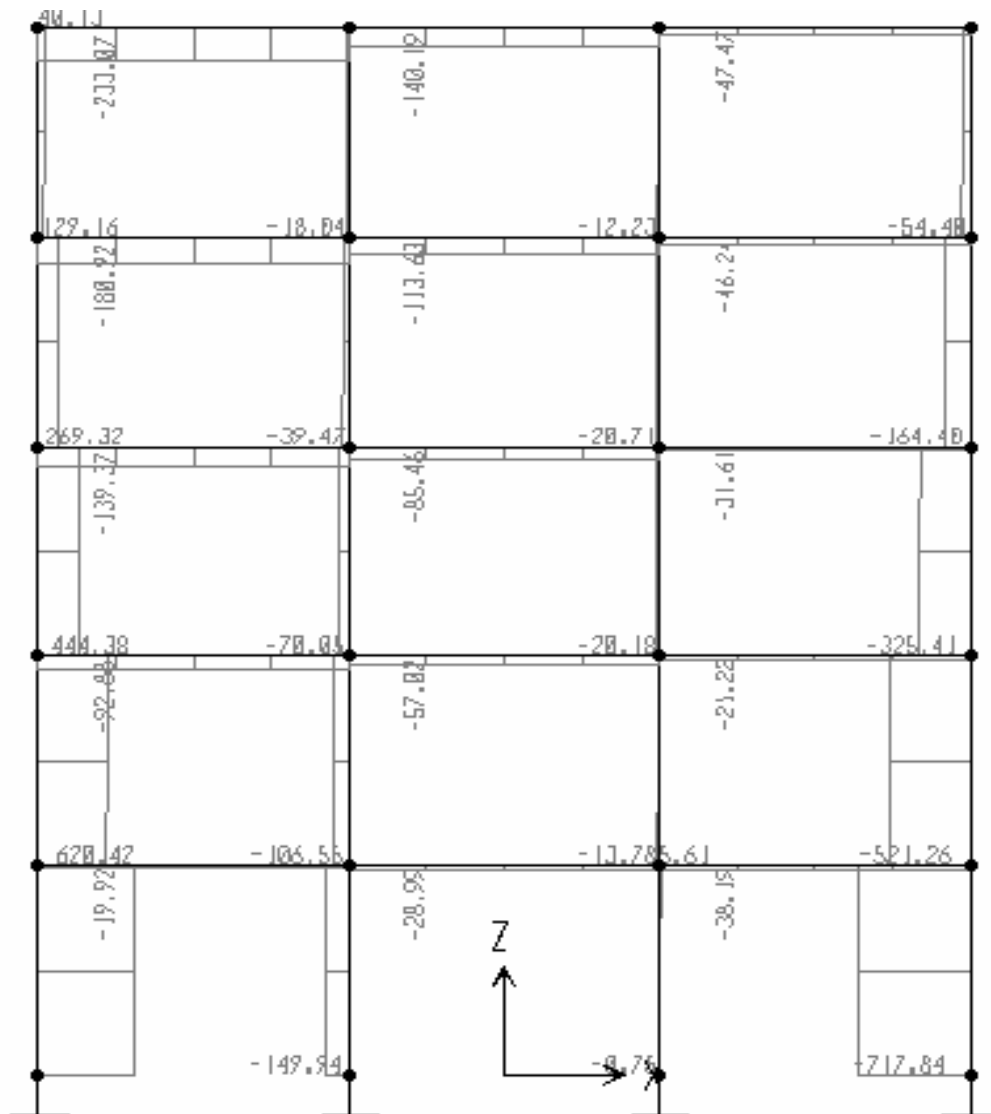


Figura 13. Fuerza axial

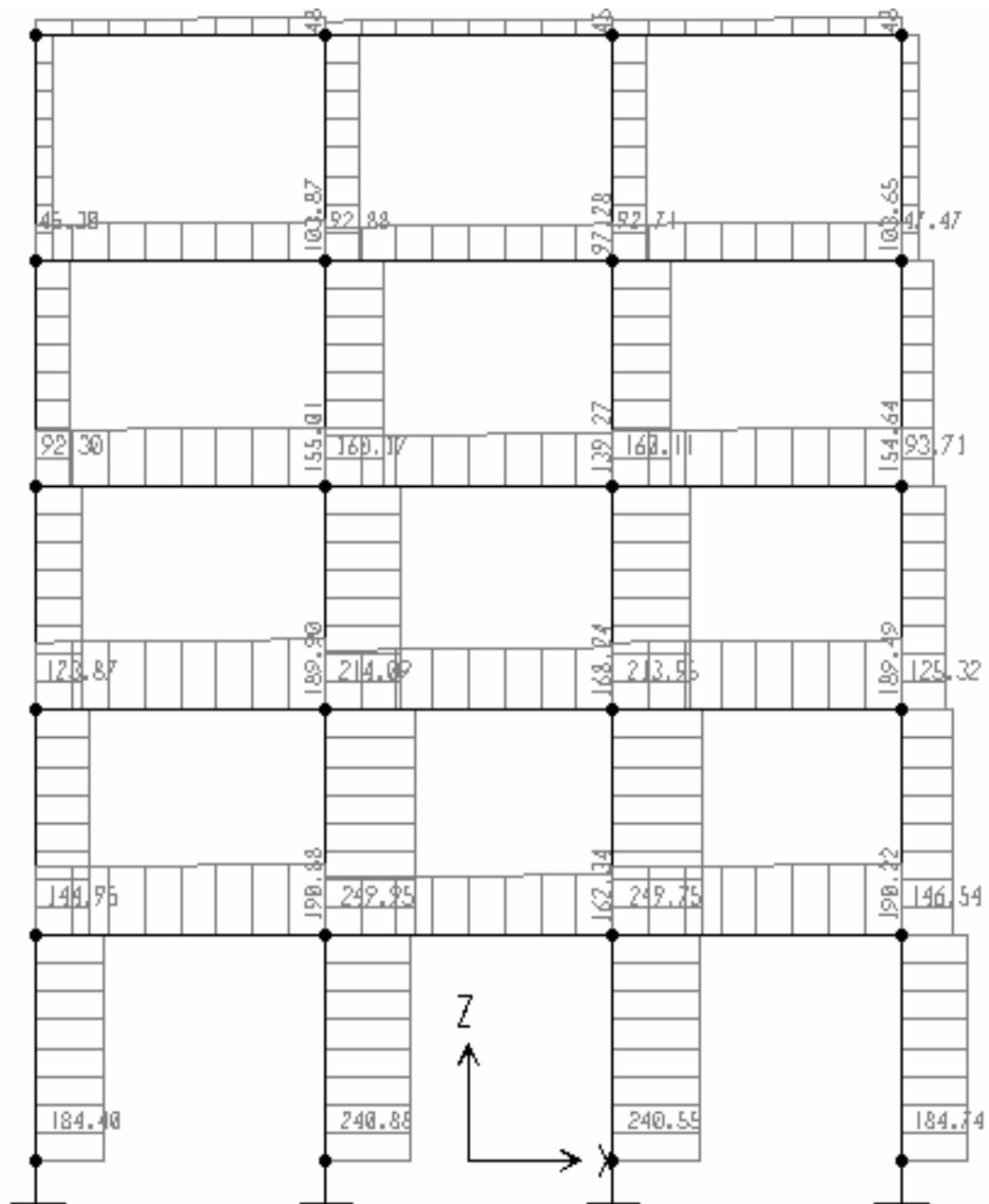


Figura 14. Fuerza Cortante

Si se analiza los resultados del momento flector y se observa el punto de valor cero, se puede ver que este punto es un poco variable en cuanto a su ubicación a lo largo de la columna, con respecto al piso en que se analice.

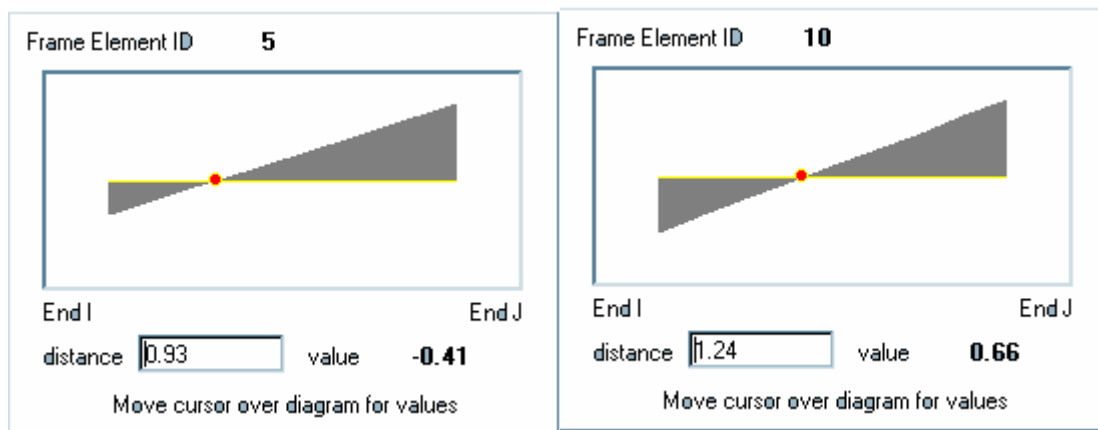


Figura 16. Valores de momento piso cinco

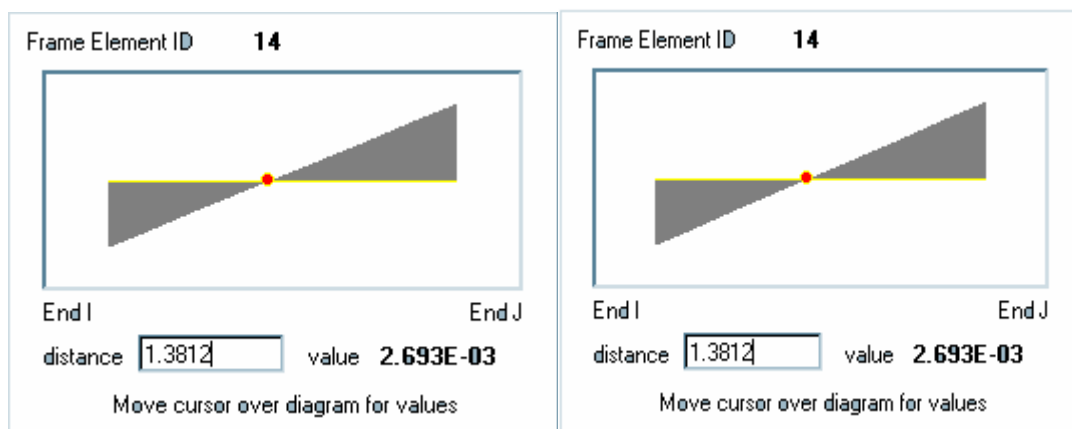


Figura 17. Valores de momento piso cuatro

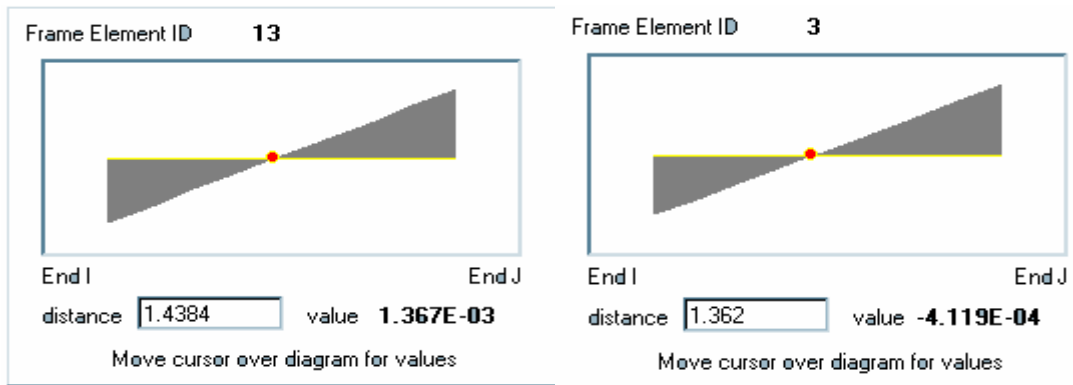


Figura 18. Valores de momento piso tres

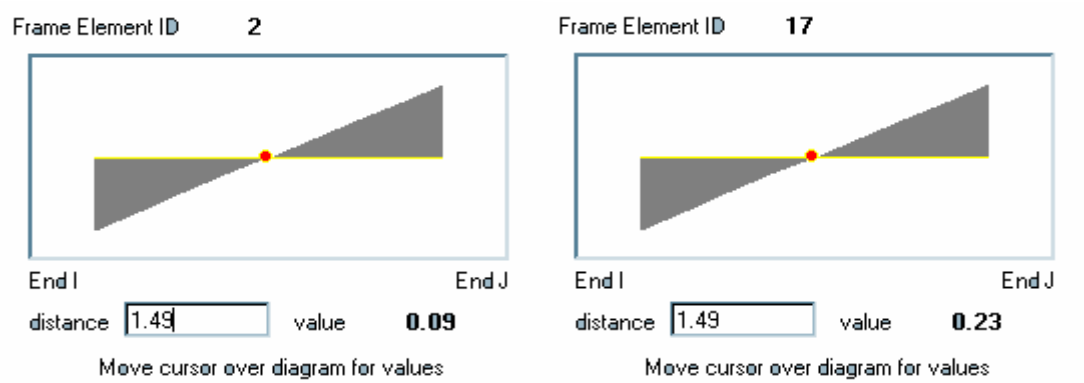


Figura 19. Valores de momento piso dos

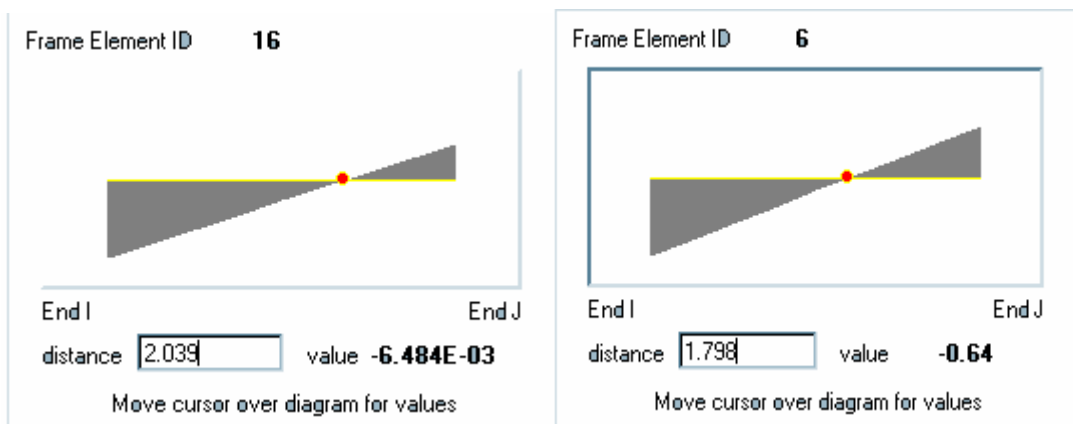


Figura 20. Valores de momento piso uno

Esta investigación se centrara en aquellas columnas donde el punto de inflexión es en la mitad, según el modelamiento los pisos 2 y 3 son los que mas se acercan a esta condición.

Como las columnas son de tres metros de longitud, a una escala de un tercio.

En la figura 21 se muestra la condición de carga de la columna completa, en la figura 22 se observa la condición de carga del espécimen.

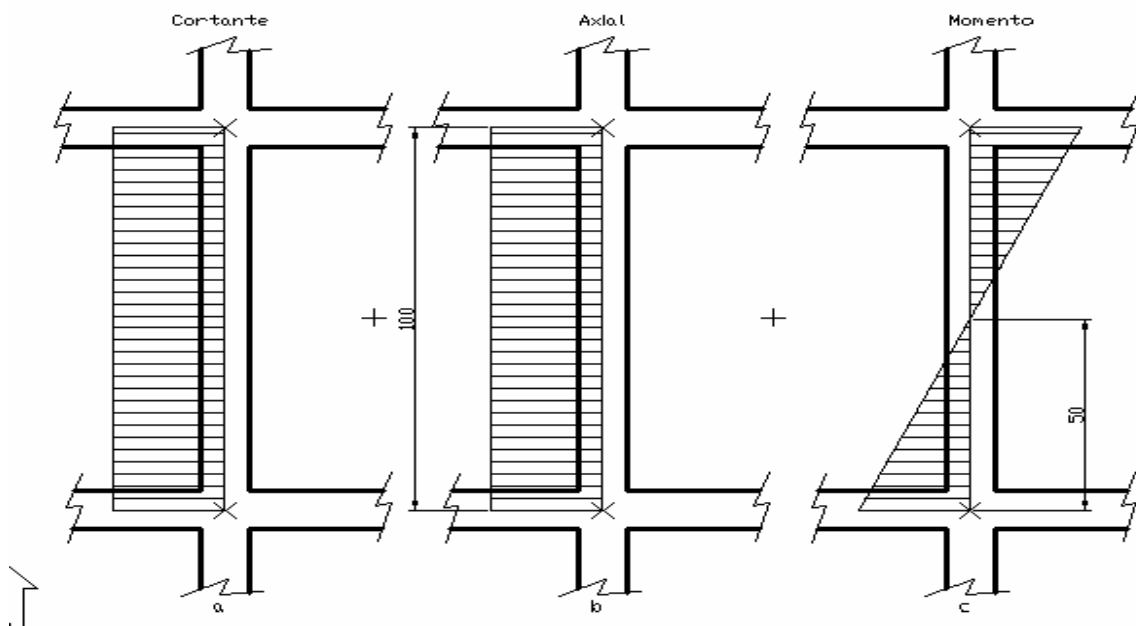


Figura 21. Condición de carga de columna completa

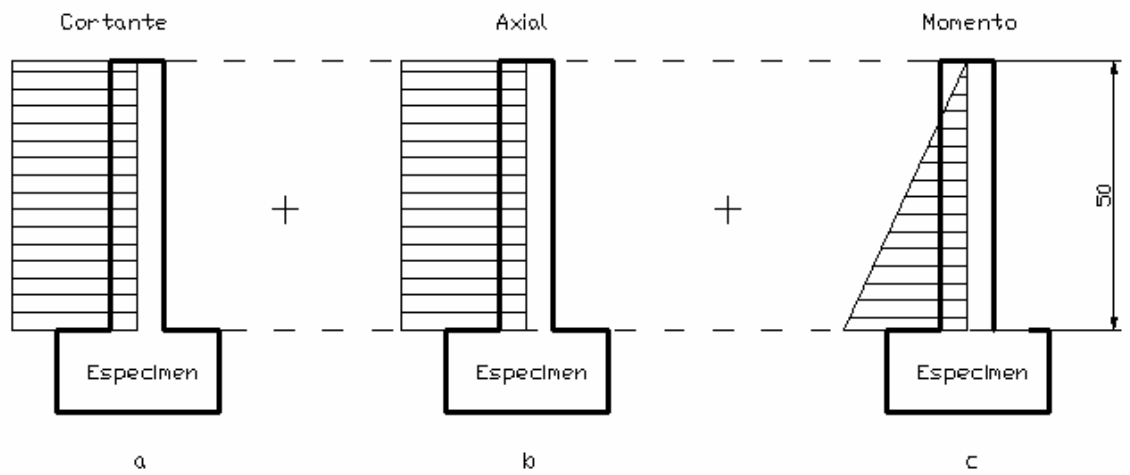


Figura 22. Condición de carga del espécimen

2.2.1.3 Concreto para el espécimen

Para el diseño de la mezcla del concreto, fue necesario hacer ensayos a los materiales que se usaron.

Los resultados de los ensayos se muestran a continuación:

- **ENSAYO AGREGADO GRUESO**

Gravedades Específicas

Datos:

A: peso de la muestra en condición s.s.s en el aire..... 5000 gramos

Pa: peso de la canasta sumergida en agua..... 1804 gramos

Pb: peso de la canasta + muestra s.s.s sumergida en agua..4845 gramos

B: peso de la muestra en agua = $P_b - P_a$ 3041 gramos

C: peso de la muestra secada al horno..... 4850 gramos

Peso platón..... 115 gramos

Cálculos:

Gravedad especifica real:..... $C/(C-B)=4850/(4850-3041)=2.68$

Gravedad especifica aparente:..... $C/(A-B)=4850/(5000-3041)=2.48$

Gravedad especifica aparente s.s.s:..... $A/(A-B)=5000/(5000-3041)=2.55$

Pesos unitarios

Calibración del medidor:

P1= peso del medidor + vidrio.....3035 kg

P2= peso del medidor +vidrio +agua.....5865 Kg

V = volumen del medidor..... $(P1-P2)/1000=(5865-3035)/1000 = 2.83$

Datos :

Pm: peso del medidor vacío.....2543 gramos

Pc: peso del medidor+material s.s.s compactado.....6783 gramos

Ps: peso del medidor+material s.s.s suelto.....6322gramos

Peso unitario del agregados s.s.s

compactado ... $(P_c - P_m)/v = (6783 - 2543)/2.83 = 1498.23 \text{ Kg/m}^3$

Peso unitario del agregados s.s.s

suelto ... $(P_s - P_m)/v = (6322 - 2543)/2.83 = 1335.34 \text{ Kg/m}^3$

% absorción $(B - D) * 100 / D = (500 - 499) * 100 / 499 = 0.2\%$

% de vacíos ... $(E * 1000 - F) / E * 100 = (2.57 * 1000 - 1557.6) / 2.57 * 10 = 39.40\%$

% absorción $(A - C) * 100 / C = (5000 - 4850) * 100 / 4850 = 3.09\%$

% de vacíos . $(D * 1000 - E) / E * 10 = (2.55 * 1000 - 1498.23) / (2.55 * 10) = 41.25 \%$

- **ENSAYO AGREGADO FINO**

Gravedades Especificas

Datos:

A: peso del frasco + agua hasta la marca en el aire.....670 gramos

B: peso de la muestra en condición s.s.s en el aire..... ..500 gramos

C: peso de la muestra.975.6 gramos

D: peso de la muestra secada al horno..... 499 gramos

Peso platón.....115 gramos

Cálculos:

Gravedad específica real:..... $D/(A-C+D)=499/(670-975.6+499)=2.58$

Gravedad específica aparente:..... $D/(A+B-C)=499/(670+500-975.6)= 2.57$

Gravedad específica aparente sss: $B/(A+B-C)=500/(670+500-975.6)=2.57$

Pesos unitarios:

Calibración del medidor:

P1=peso del medidor + vidrio.....3035 kilogramos

P2=peso del medidor +vidrio +agua.....5865 kilogramos

V :volumen del medidor..... $(P1-P2)/1000=(5865-3035)/1000=2.83$

Datos:

Pm: peso del medidor vacío.....2543 gramos

Pc: peso del medidor+material s.s.s compactado.....6951 gramos

Ps: peso del medidor+material s.s.s suelto.....6353 gramos

Peso unitario del agregados

s.s.s compactado $(Pc-Pm)/v=(6951-2543)/2.83= 1557.6 \text{ Kg/m}^3$

Peso unitario del agregados

s.s.s suelto $(P_s - P_m)/v = (6353 - 2543)/2.83 = 1346.3 \text{ Kg/m}^3$

% absorción $(B - D) * 100 / D = (500 - 499) * 100 / 499 = 0.2\%$

% de vacíos $(E * 1000 - F) / E * 100 = (2.57 * 1000 - 1557.6) / 2.57 * 10 = 39.40\%$

- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA**

TABLA 5. Granulometria de la arena

| TAMIZ | PESO RETENIDO(GR) | %RETENIDO | % RET. ACUM | % QUE PASA |
|-------|----------------------|-----------|----------------|------------|
| 4 | 30.7 | 3.07 | 3.07 | 96.93 |
| 8 | 37.3 | 3.73 | 6.8 | 93.2 |
| 16 | 68.6 | 6.86 | 13.66 | 86.34 |
| 30 | 220.8 | 22.08 | 35.74 | 64.26 |
| 50 | 323.8 | 32.38 | 68.12 | 31.88 |
| 100 | 196.8 | 19.68 | 87.88 | 12.12 |
| FONDO | 118.3 | 15.53 | | |
| TOTAL | 1000 | | | |

MODULO DE FINURA: 2.15

DISEÑO DE MEZCLA

| | |
|---------------------------------|-----------------------|
| Asentamiento..... | 7.5 |
| Tamaño Máximo..... | 1/2" |
| Agua..... | 220 kg/m ³ |
| Relación agua/cemento(A/C)..... | 0.58 |
| Cemento..... | 379 Kg/m ³ |
| b/bo..... | 0.62 |
| Agregado grueso..... | 0.62*1498=929 Kg |

Dosificación en volumen para 1m³

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| Agua..... | 220 lt |
| Cemento..... | (379 kg)/(2.9 kg/lt)=131 lt |
| Agregado grueso..... | (929 kg)/(2.55)=364 lt |
| Agregado fino..... | 1000-(220+131+364)=285lt |

Dosificación para un espécimen

| | |
|----------------------|------------|
| Agua..... | 4.07lt |
| Cemento..... | 7.0115 Kg |
| Agregado grueso..... | 13.542 Kg |
| Agregado fino..... | 17.1863 Kg |

2.2.1.4 Refuerzo con SCO

Después de 28 días, los especímenes están aptos para aplicarle el sistema compuesto orgánico.

Según investigaciones anteriores, la malla óptima es la de referencia 082-55-55, una malla elaborada con cabuyas de referencia 082-12, trenzada en grupos de cinco cabuyas en sentido longitudinal y grupos de cinco cabuyas en sentido transversal, la carga de rotura en sentido transversal es de 174 Kgf y de 170 Kgf en sentido longitudinal. (Combariza y Martínez, 1999).

La longitud de envoltura que abarcaría el S.C.O. en la columna se eligió de dos veces la sección transversal de la columna, es decir, veinte centímetros. Véase figura 23

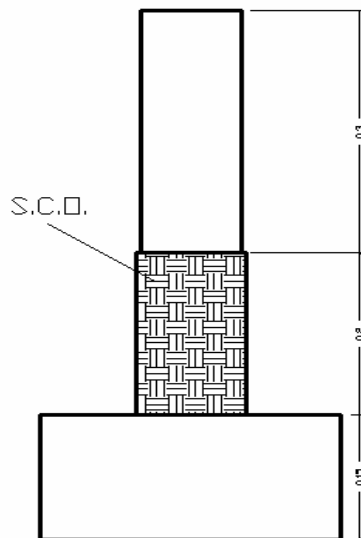


Figura 23. Recubrimiento del S.C.O. sobre el espécimen

2.2.2 Soporte del espécimen

El soporte del espécimen es diseñado como una zapata céntrica, para una carga axial de 38000 kg, que es cuatro veces mayor a la que resiste la columna. La razón es que esta zona no debe estar cerca al límite de la falla y debe ser garantía de resistencia.

El esfuerzo cortante actuante en la cara de la columna no es resistido solo por el concreto para las dimensiones establecidas, por dicho motivo se reforzó a cortante con estribos de una rama.

Tabla 3. Soporte del espécimen

| DISEÑO DELSOPORTE | |
|---------------------------|-------------|
| Pu (Kg) | 38000 |
| Fc(Kg/cm ²) | 210 |
| Fy(kgf/cm ²) | 2800 |
| Lado zap (cm) | 30 |
| Lado columna(cm) | 10 |
| d | 14 |
| lado perforacion | 24 |
| Ao | 576 |
| Bo | 96 |
| Area perforacion(vert) | 1344 |
| Cortante | |
| Qun (Kg/cm ²) | 42.22222222 |
| Wu(Kg/cm) | 1266.666667 |
| Cort en la cara.col(Kg) | 12666.66667 |
| esf.cort | 35.48085901 |
| vc | 7.680429675 |
| cumple con solo el vc? | No |
| vs necesario | 27.80042933 |
| Area ref | 0.2824 |
| s | 5.688545241 |

| Punzonamiento | | |
|------------------------------|-------------|---------|
| Vup | 13680 | |
| esfuerzo punzonamiento | 11.97478992 | cumple? |
| esfuerzo resistente concreto | 23.47603033 | si |
| esfuerzo resistente concreto | 15.32463091 | si |
| esfuerzo resistente concreto | 15.94051442 | si |
| | | |
| | | |
| Flexion | | |
| Mu(kgf*cm) | 63333.33333 | |
| K | 0.010770975 | |
| cuantia | 0.003 | |
| pmin = | 0.0018 | |
| cumple cuantia? | si | |
| acero(cm2) | 1.26 | |
| 6 Ø 6mm = 1.6962 | | |
| Cuantia real | 0.002423143 | |

DESPIECE

REFUERZO A FLEXION

Acero graficado 6mm

$F_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

Longitud = 43cm

de varillas por espécimen =6

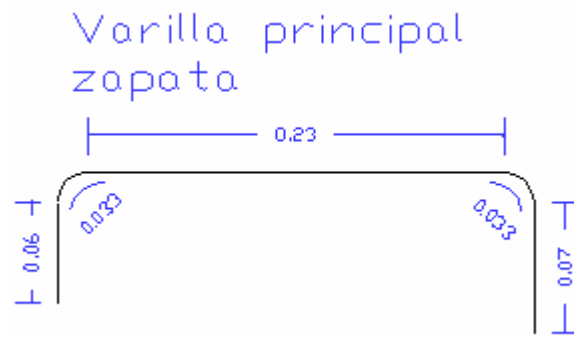


Figura 24. Refuerzo principal del soporte del espécimen

REFUERZO POR CORTANTE

Acero graficado 6mm

$F_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

Longitud = 23 cm

de varillas por espécimen = 36

Estribo zapata

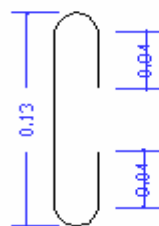


Figura 25. Estribos del soporte del espécimen

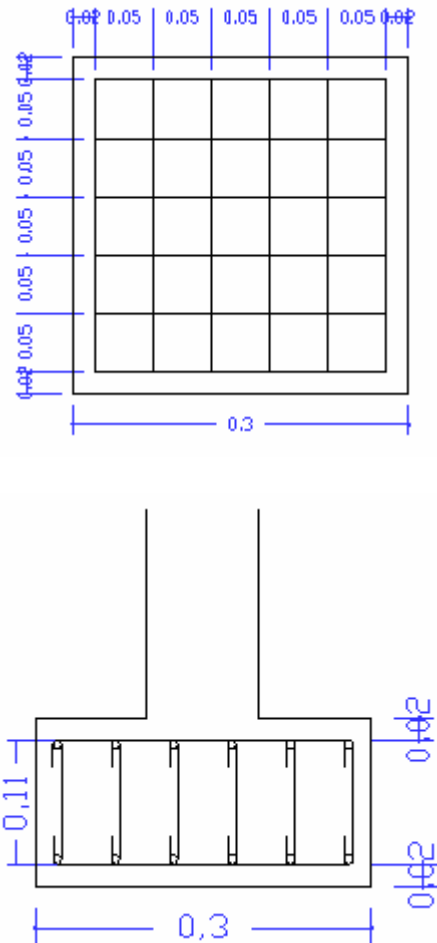


Figura 26. Disposición de las varillas de refuerzo del soporte del espécimen

2.2.3 Formaleta

La formaleta fue construida de madera Zapan, una clase madera dura y resistente al agua. Estas características permitieron que la formaleta fuera usada varias veces. La forma y dimensiones se muestran en la figura 27

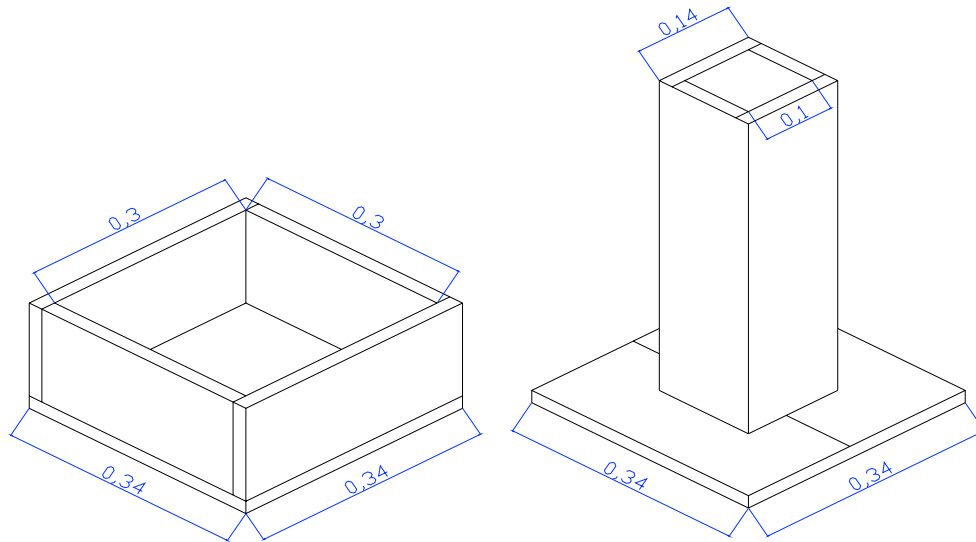


Figura 27. Formaleta para el espécimen

2.3 DISEÑO DEL EQUIPO DE PRUBA PARA LOS ESPECIMENES

2.3.1 Marco

Las condiciones de diseño del marco principalmente eran: La resistencia a la fuerza a la que se sometería y que las deformaciones fueran despreciables.

La condición de carga a las que el marco trabajaría y el perfil usado se muestran en la figura 28.

Las cargas P_v y P_l son proporcionadas por gatos hidráulico. El espécimen transmite la carga vertical P_v al elemento horizontal inferior del marco, de igual forma transmite la carga P_l a uno de los elementos verticales del marco.

La carga P_v^* , P_l^* y M^* son las cargas que se usan en el análisis estructural del pórtico.

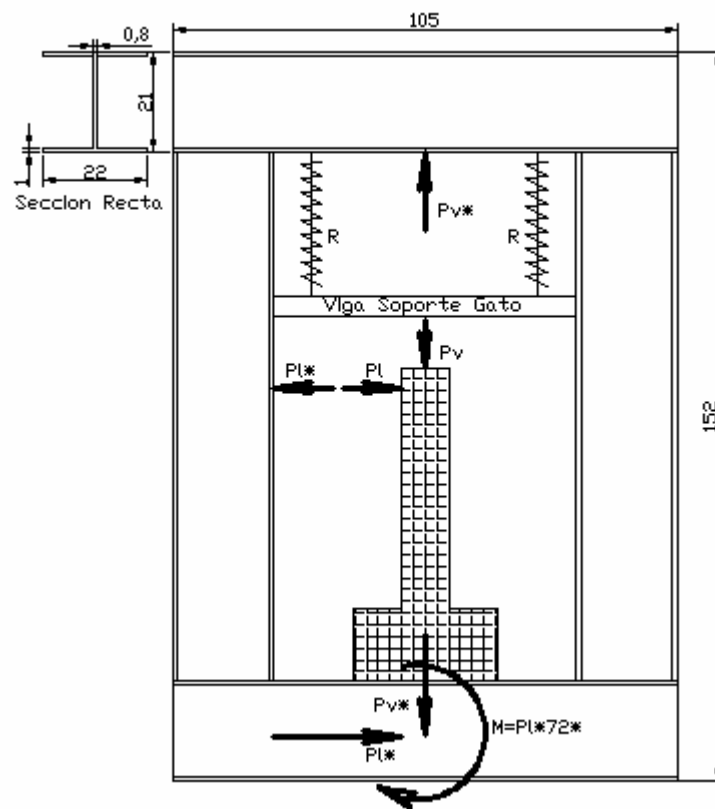


Figura 28. Marco

EL gato que acciona la fuerza vertical es apoyado en la viga soporte gato, esta a su vez es sostenida por unos resortes que hacen que el gato recobre su posición normal después de la aplicación de la carga.

A los resortes se les medió el módulo de elasticidad en el laboratorio, obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 4. Modulo elasticidad de resortes

ENSAYO MODULO DE ELASTICIDAD

| | PRUEBA # 1 | | PRUEBA # 2 | |
|---|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | P (kg) | X (1e-3)pulga | P (kg) | X (1e-3)pulga |
| 1 | 10 | | 10 | 65 |
| 2 | 20 | 450 | 20 | 460 |
| 3 | 30 | 1190 | 30 | 1050 |
| 4 | 40 | 1490 | 40 | 1576 |
| 5 | 50 | 2010 | 50 | 2095 |
| 6 | 60 | 2628 | 60 | 2650 |

CONVERSION A METROS

| | PRUEBA # 1 | | PRUEBA # 2 | |
|---|-------------------|---------|-------------------|---------|
| | P (kg) | X (CM) | P (kg) | X (CM) |
| 1 | 10 | 0 | 10 | 0.1651 |
| 2 | 20 | 1.143 | 20 | 1.1684 |
| 3 | 30 | 3.0226 | 30 | 2.667 |
| 4 | 40 | 3.7846 | 40 | 4.00304 |
| 5 | 50 | 5.1054 | 50 | 5.3213 |
| 6 | 60 | 6.67512 | 60 | 6.731 |

PROMEDIO DE LOS VALORES

| | P (kg) | X (Cm) |
|---|--------|---------|
| 1 | 10 | 0.1651 |
| 2 | 20 | 1.1557 |
| 3 | 30 | 2.8448 |
| 4 | 40 | 3.89382 |
| 5 | 50 | 5.21335 |
| 6 | 60 | 6.70306 |

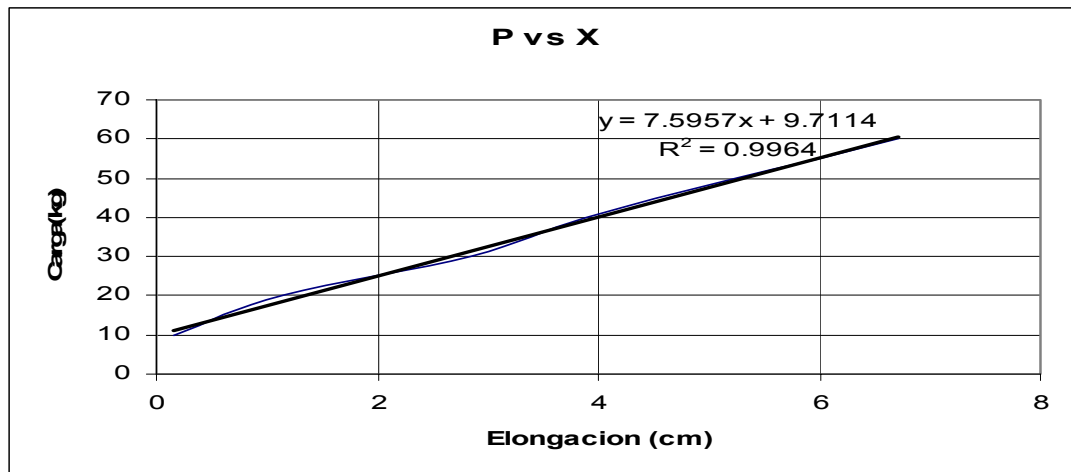


Grafico 2. Curva Elongación vs Carga para los resortes

La carga que debería aplicar el gato vertical se vería reducida por los resortes y aumentada por el peso del gato y también por la viga de soporte.

F_e = fuerza sobre el espécimen

P_g = peso del gato

P_v = peso de la viga soporte gato

F_g = fuerza ejercida por el gato

F_r = fuerza ejercida por los resortes

$$F_e = F_g + P_g + P_v - F_r$$

La simulación de la estructura del marco fue realizada en SAP2000 obteniendo un análisis detallado de las deformaciones bajo cargas superiores de las necesarias para el ensayo.

La deformación máxima fue de 0.115 cm con una carga de 50 toneladas vertical y con 5 toneladas de carga horizontal. (ver figura 32)

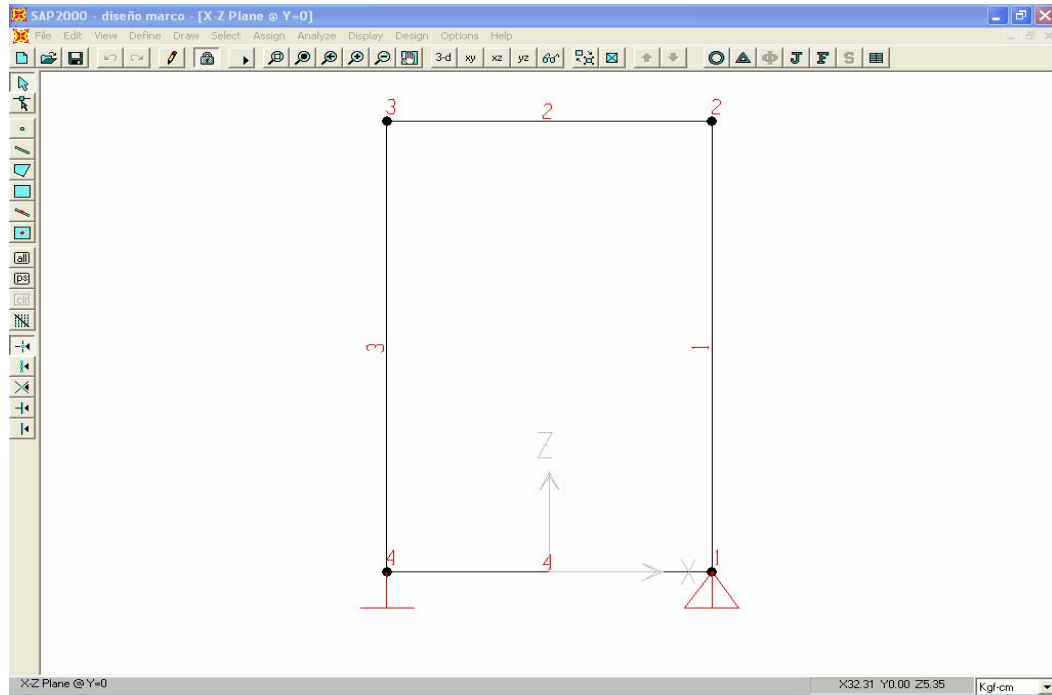


Figura 29. Apoyos del marco

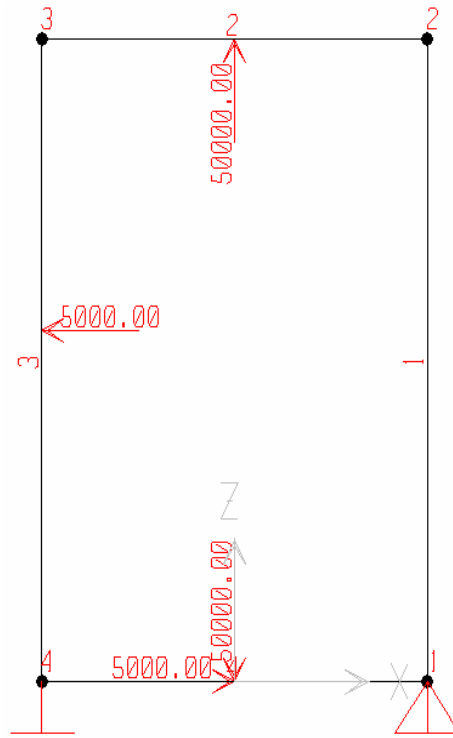


Figura 30. Fuerzas del marco

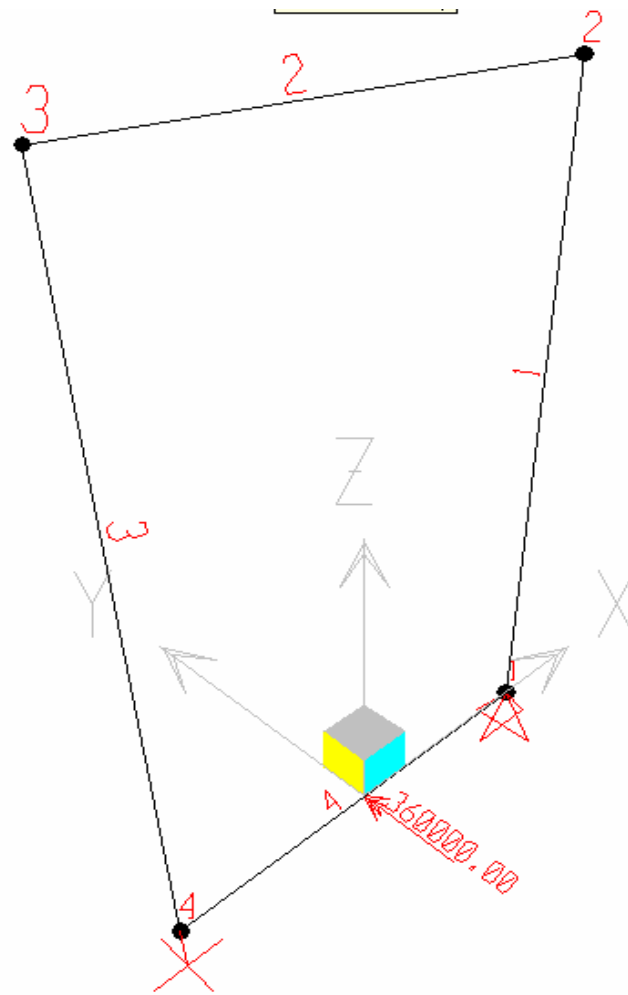


Figura 31. Momento del marco

El momento aplicado es la fuerza horizontal 5000kgf multiplicada por 42cm que es la distancia entre el punto de aplicación de la carga horizontal y el eje de el elemento inferior del marco.

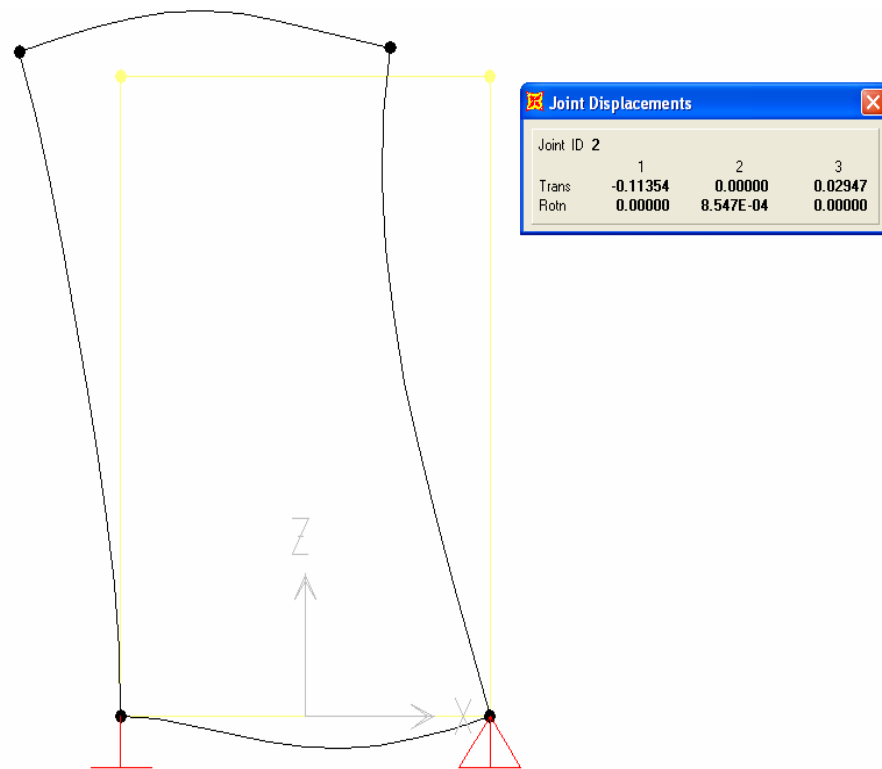


Figura 32. Deformación del marco

2.3.2 Gatos hidráulicos

Se aplicará carga en dos direcciones (vertical y horizontal). La carga vertical generará la fuerza de compresión necesaria para el análisis, en tanto que la fuerza horizontal generará el momento en la base del espécimen.

EL gato que proporcionará la carga vertical tiene capacidad de cincuenta toneladas (50 Ton), mientras el gato que proporcionará la fuerza horizontal es de capacidad de dos toneladas (2 Ton). (Ver figura 33)

Los manómetros que se encuentran instalados en los gatos, tomarán el valor de presión del aceite. Es necesario encontrar la equivalencia en fuerza de la presión leída en el manómetro.

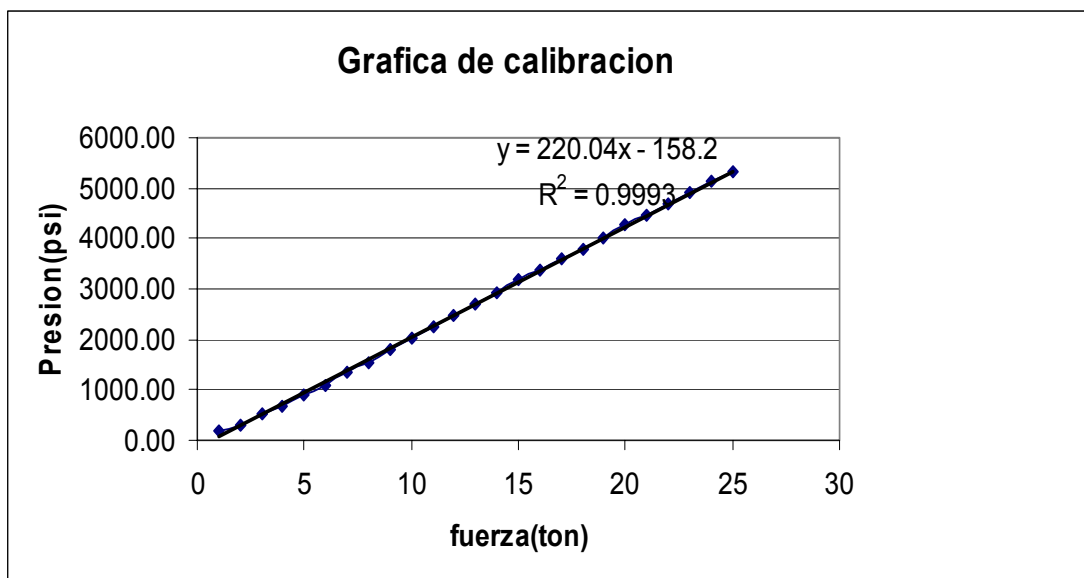


Figura 33. Gatos hidráulicos

En la maquina TREBEL (figura 34) se realizó la calibración de los gatos. Se hizo una curva con los datos obtenidos, que indica las toneladas que el gato aplica de acuerdo a la presión leída.

Tabla 6. Valores de calibración gato 50 Ton

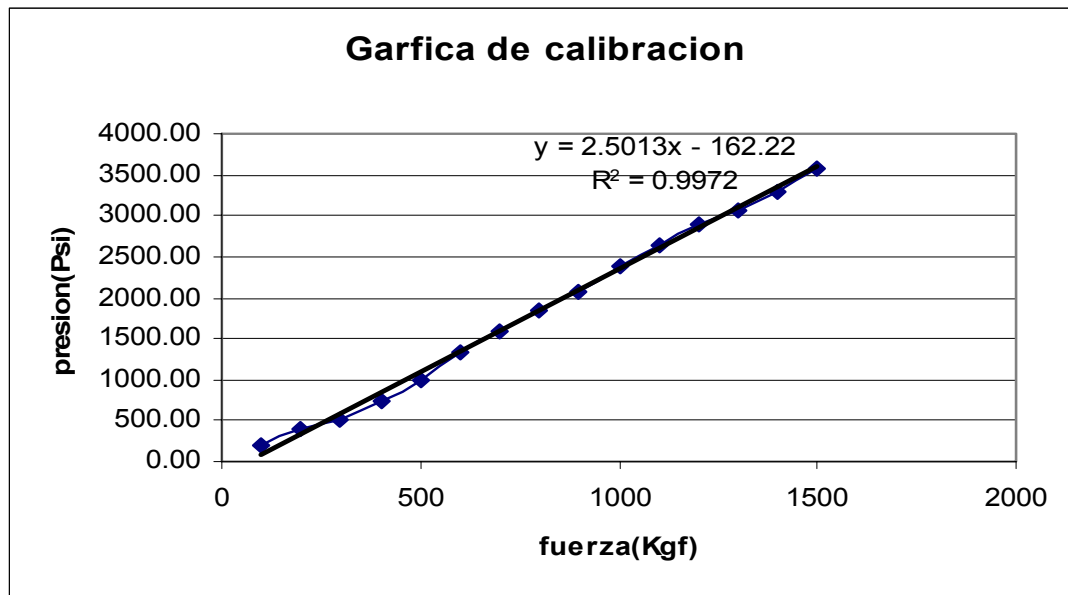
| GATO DE 50 TON | | | | | Presion(psi) | Fuerza (ton) |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|
| FUERZA | PRESION | | | | | |
| | LECTURA 1 | LECTURA 2 | LECTURA 3 | PROMEDIO | | |
| TON | PSI | PSI | PSI | PSI | | |
| 1 | 0 | 0 | 200 | 200.00 | 200 | 1.628 |
| 2 | 400 | 300 | 250 | 316.67 | 400 | 2.537 |
| 3 | 600 | 500 | 450 | 516.67 | 600 | 3.446 |
| 4 | 0 | 700 | 680 | 690.00 | 800 | 4.355 |
| 5 | 900 | 900 | 850 | 883.33 | 1000 | 5.264 |
| 6 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100.00 | 1200 | 6.173 |
| 7 | 1350 | 0 | 1380 | 1365.00 | 1400 | 7.081 |
| 8 | 1500 | 1550.00 | 1550 | 1533.33 | 1600 | 7.990 |
| 9 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800.00 | 1800 | 8.899 |
| 10 | 2000 | 2000 | 2020 | 2006.67 | 2000 | 9.808 |
| 11 | 2250 | 2250 | 2250 | 2250.00 | 2200 | 10.717 |
| 12 | 2450 | 2480 | 2450 | 2460.00 | 2400 | 11.626 |
| 13 | 2680 | 2720 | 2750 | 2716.67 | 2600 | 12.535 |
| 14 | 2900 | 2950 | 2980 | 2943.33 | 2800 | 13.444 |
| 15 | 3170 | 3180 | 3200 | 3183.33 | 3000 | 14.353 |
| 16 | 3380 | 3380 | 3400 | 3386.67 | 3200 | 15.262 |
| 17 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600.00 | 3400 | 16.171 |
| 18 | 3800 | 3800 | 3810 | 3803.33 | 3600 | 17.080 |
| 19 | 4000 | 4050 | 4020 | 4023.33 | 3800 | 17.989 |
| 20 | 4250 | 4270 | 4280 | 4266.67 | 4000 | 18.897 |
| 21 | 4500 | 4500 | 4430 | 4476.67 | 4200 | 19.806 |
| 22 | 4700 | 4700 | 4690 | 4696.67 | 4400 | 20.715 |
| 23 | 4900 | 4920 | 4900 | 4906.67 | 4600 | 21.624 |
| 24 | 5150 | 5130 | 5100 | 5126.67 | 4800 | 22.533 |
| 25 | 5300 | 5300 | 5320 | 5306.67 | 5000 | 23.442 |
| | | | | | 5200 | 24.351 |



Grafica 3. Calibración gato 50 Ton

Tabla 7. Valores de calibración gato de 2 Ton

| GATO DE 2 TON | | | | | Presion(psi) | Fuerza (ton) |
|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|
| FUERZA | PRESION | | | | | |
| | LECTURA 1 | LECTURA 2 | LECTURA 3 | PROMEDIO | | |
| KGF | PSI | PSI | PSI | PSI | | |
| 100 | 0 | 0 | 200 | 200.00 | 200 | 0.1448 |
| 200 | 600 | 300 | 300 | 400.00 | 400 | 0.2248 |
| 300 | 500 | 0 | 500 | 500.00 | 600 | 0.3047 |
| 400 | 700 | 800 | 750 | 750.00 | 800 | 0.3847 |
| 500 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000.00 | 1000 | 0.4646 |
| 600 | 1300 | 1380 | 1300 | 1326.67 | 1200 | 0.5446 |
| 700 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600.00 | 1400 | 0.6246 |
| 800 | 1800 | 1850.00 | 1900 | 1850.00 | 1600 | 0.7045 |
| 900 | 2050 | 2100 | 2100 | 2083.33 | 1800 | 0.7845 |
| 1000 | 2350 | 2400 | 2400 | 2383.33 | 2000 | 0.8644 |
| 1100 | 2600 | 2650 | 2650 | 2633.33 | 2200 | 0.9444 |
| 1200 | 3000 | 2800 | 2900 | 2900.00 | 2400 | 1.0244 |
| 1300 | 3050 | 3100 | 0 | 3075.00 | 2600 | 1.1043 |
| 1400 | 3300 | 3350 | 3240 | 3296.67 | 2800 | 1.1843 |
| 1500 | 3550 | 3600 | 3600 | 3583.33 | 3000 | 1.2642 |
| | | | | | 3200 | 1.3442 |
| | | | | | 3400 | 1.4241 |
| | | | | | 3600 | 1.5041 |



Gráfica 4. Calibración gato de 2 Ton



Figura 34. Calibración de los gatos en la maquina TREBEL

2.3.3 Sistemas de medición

Los equipos de medición que se manejaron fueron dos :

- Manómetros: Se asignó a cada gato un manómetro. Para el gato de cincuenta toneladas se usó un manómetro de diez mil (10.000 P.S.I.) y para el gato de dos toneladas se usó un manómetro de seis mil (6.000 P.S.I.).

- Deformímetros: Se usaron dos deformímetros uno para medir las deformaciones verticales y otro para las deformaciones horizontales. Estas lecturas eran en milésima de pulgada (0.001”).



Figura 35. Deformímetros

2.3.4 Apoyos para el espécimen

Los apoyos para el espécimen fueron dos :

El primer apoyo se hizo para mantener la posición de la zapata del espécimen, es decir para garantizar que las deformaciones que se medían fueran verdaderamente del espécimen y no ocasionada por las malas condiciones de amarre(ver figura 37). Como se ve en la figura el sistema estaba conformado por cuatro tornillos, cuatro roscas y un ángulo en cada extremo, los tornillos eran apretados de forma que la zapata quedara totalmente amarrada por el sistema. Los tornillos son de acero grado 8 ($f_y = 150000 \text{ lb/in}^2$)

El segundo apoyo era un elemento que permitiera desplazamientos horizontales de la columna, que a su vez resistiera y transmitiera la carga vertical que se aplicaría. Se diseñó para esto un carro metálico como lo muestra la figura 36.



Figura 36. Apoyo Superior



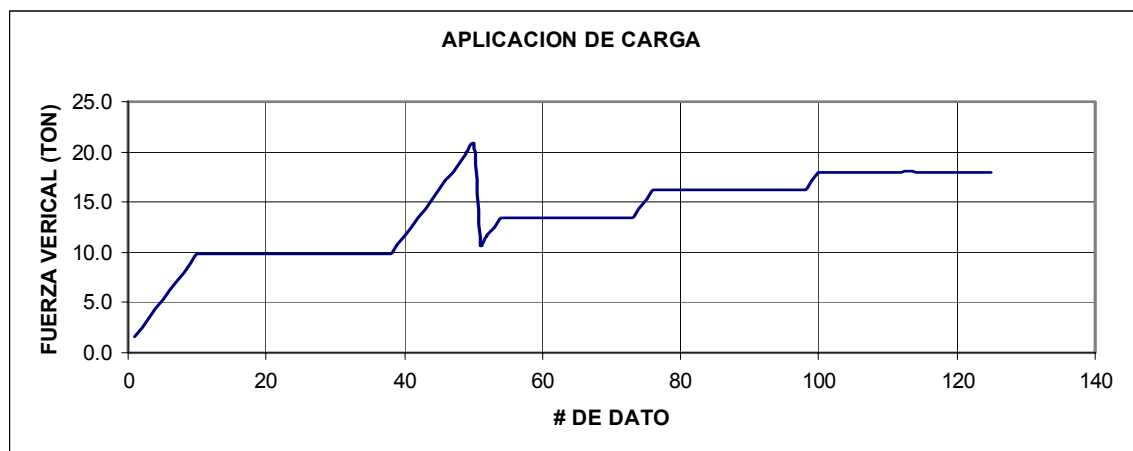
Figura 37. Apoyo inferior

3. PRUEBA DE ELEMENTOS Y RESULTADOS

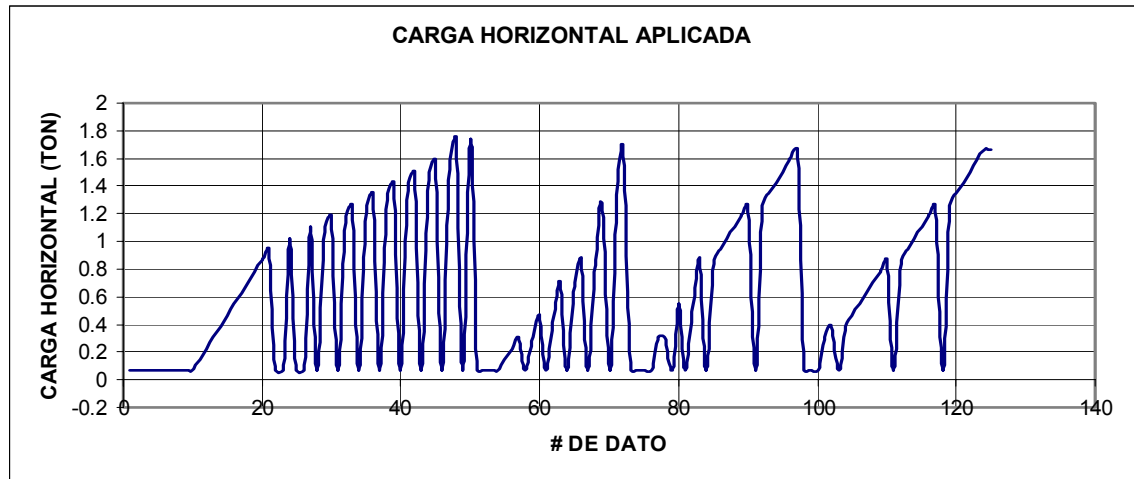
ESPECIMEN 1

Descripción: columna sin recubrimiento de concreto (descascarada), con dos vueltas de S.C.O.

Procedimiento: Se aplicó carga vertical hasta llegar a 9.84 Ton, luego se accionó el gato horizontal y se aplicó carga gradualmente, los cambios de carga se hacían cada minuto. Como no había indicios de algún daño en la columna se aumento la carga vertical y se hacia que la carga horizontal variara de 0 Ton a 1.74 Ton cargando y descargando. Las graficas tales, muestran la historia de aplicación de la carga tanto vertical como horizontal.



Grafica 5. Aplicación carga vertical espécimen 1



Gráfica 5. Aplicación carga horizontal espécimen 1

Resultados: El anexo 2, muestra los datos tomados del ensayo de esta columna y en la tabla 8, se muestran los valores de falla en la columna.

VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | 3800 | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 4000 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 1.664022708 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | 20.75090169 | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 0.48768 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | 0.59182 | CM |

Tabla 8. Valores de falla espécimen 1

Análisis de resultados

- La carga vertical se aplicó en incrementos, pero nunca descargando.

- La carga horizontal se aplicó en intervalos, cargando y descargando.
- Para la primera falla de la columna nunca aparece una fisura en la parte inferior, siempre los daños ocurren en la parte superior de la columna y más o menos hasta los treinta centímetros superiores. El resto de la columna no presenta cambios. La falla se presentó a 45 grados respecto al eje vertical.(figura 38).
- Cuando se aumenta la carga vertical, el espécimen trataba de volver a la posición original, razón por el cual se concluyó que el apoyo superior de la columna no estaba trabajando como se había pensado.

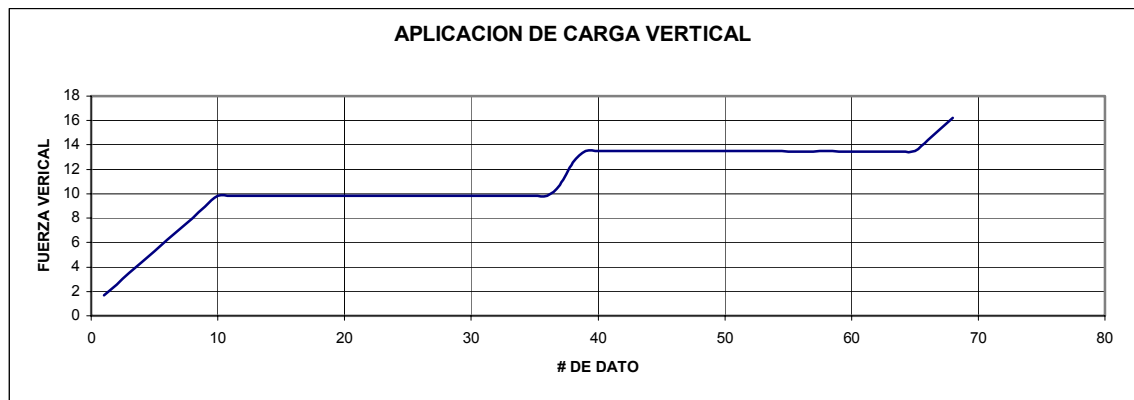


Figura 38. Falla espécimen 1

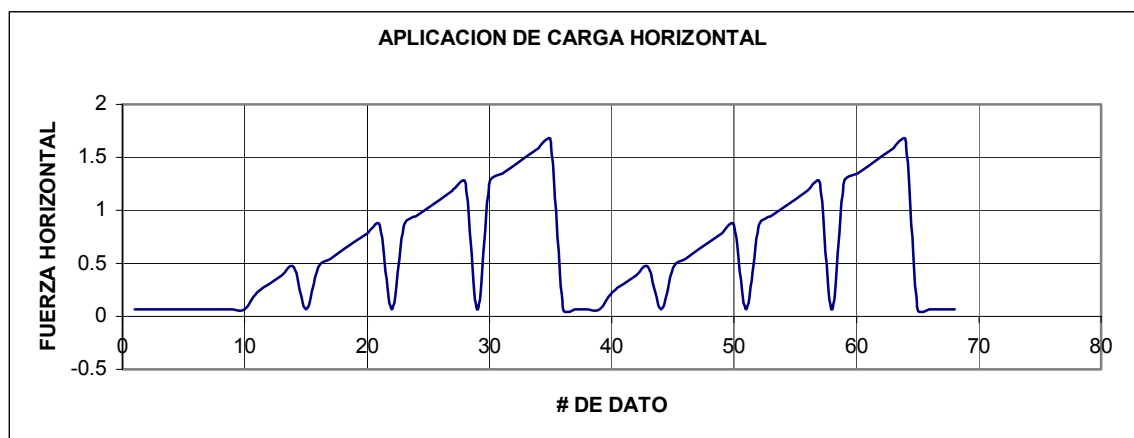
ESPECIMEN 2

Descripción: Columna sin S.C.O. (testigo)

Procedimiento: El ensayo se repitió como en el espécimen anterior, y las fisuras aparecieron de la misma manera, sin verse afectada la parte inferior. La historia de la aplicación de las cargas se muestra en las grafica 7 y 8.



Grafica 7. Aplicación carga vertical espécimen 2



Grafica 8. Aplicación de carga horizontal espécimen 2

Resultados: El anexo 3, muestra los datos que arrojó el ensayo de este espécimen y la tabla 9 muestra los valores registrados en el momento de la falla.



Figura 39. Falla espécimen 2

VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | 3400 | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 4000 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 0.064854276 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | 16.20627344 | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 0.0381 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | 0.38862 | CM |

Tabla 9. Valores de falla espécimen 2

Análisis de resultados:

- Después de analizar La columna en Sap2000 y encontrar las deformaciones (traslaciones y rotaciones) ver figura 40, se nota que la viga soporte gato es un impedimento a que se deforme naturalmente por la gran carga vertical.

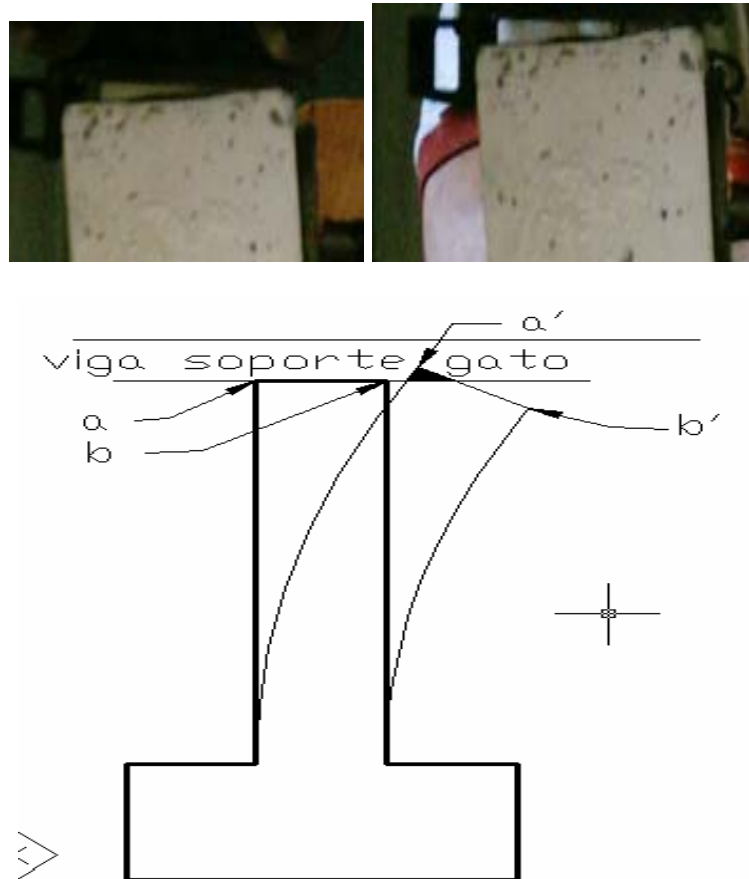


Figura 40. Anomalia apoyo superior

El punto a y b muestran la posición original del espécimen. Cuando hay aplicación de la carga de izquierda a derecha y hay deformación, el punto a' tiende a ascender y a desplazarse a la derecha mientras el punto b' baja y se desplaza a la derecha, La viga soporte gato impide el desplazamiento vertical, la parte sombreada indica que la viga soporte gato no le permite ese desplazamiento.

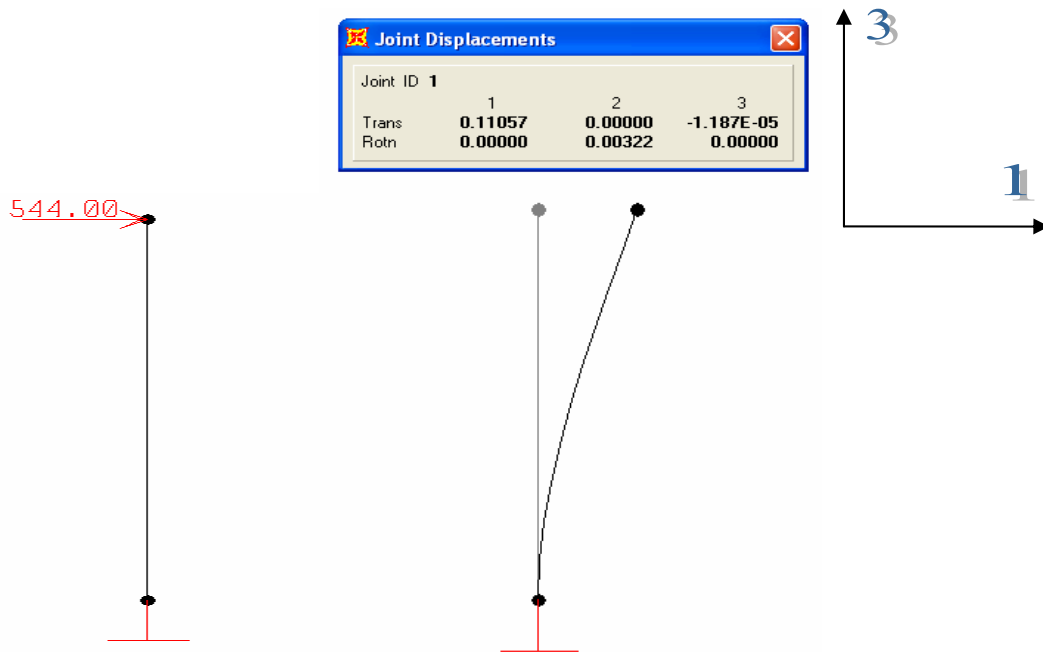


Figura 41. Deformación columna

- Otra restricción es la fuerza de fricción, el acero en contacto con acero tiene como coeficiente de fricción cinético 0.6, $F_r = 0.6 \cdot \text{fuerza normal}$, con este parámetro se observa que la fricción es aproximadamente la mitad de la carga vertical, así que si se ejercía una carga vertical de 9.84 ton la restricción horizontal por fricción era de 5.9 lo que no dejaba que el extremo

de la columna tuviera un desplazamiento horizontal libre. Por eso la concentración de esfuerzos fue en la parte superior.

- Posteriormente se aplicó solo carga horizontal y se observó que la deformación era palpable a la vista con poca carga, se presentaron fisuras donde se esperaban y la columna falló por una fisura en la base.

ESPECIMEN 3 y 4

Descripción: columnas cubiertas con dos vueltas de S.C.O.

Procedimiento: A estos dos especímenes se les aplicó solo carga horizontal, se aplicaba gradualmente y se descargaba para así comprobar el comportamiento elástico, el cambio de carga se hacía cada minuto.

Resultados: Los anexos 4 y 5 muestran los datos registrados en las columnas tres y cuatro respectivamente. Las tablas tales y los gráficos tales muestran tanto los valores de falla como la historia de aplicación de la carga.

VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|-------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | 0 | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 1400 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 0.624563227 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | 0 | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 1.79578 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | 0.38862 | CM |

Tabla 10. Valores de falla espécimen 3

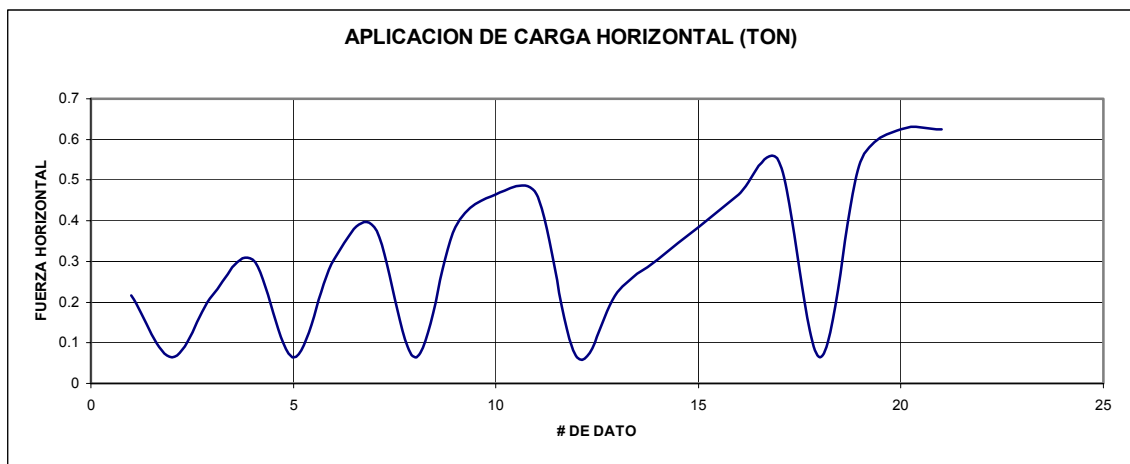


Grafico 9. Aplicación carga horizontal espécimen 3

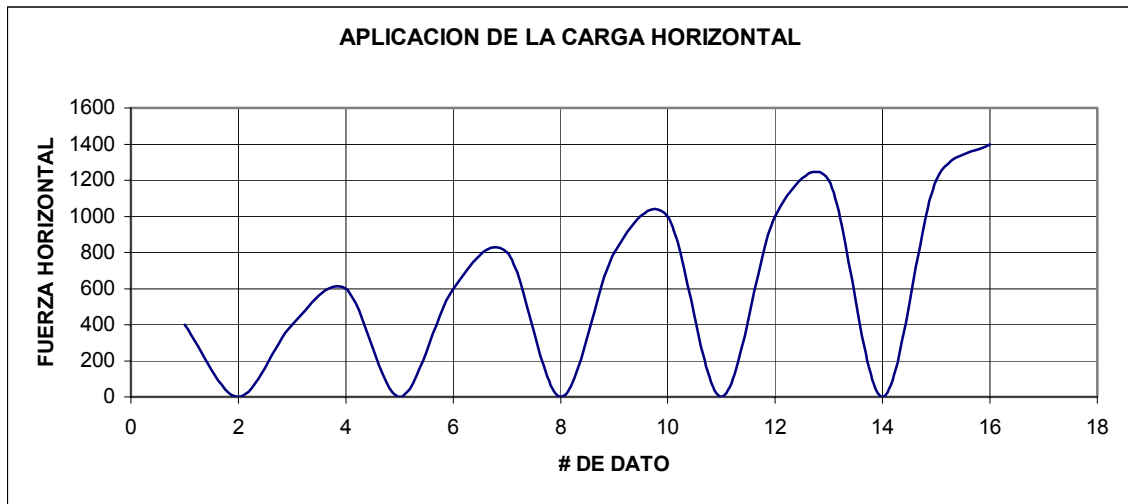


Grafica 10. Deformación vs Fuerza horizontal espécimen 3

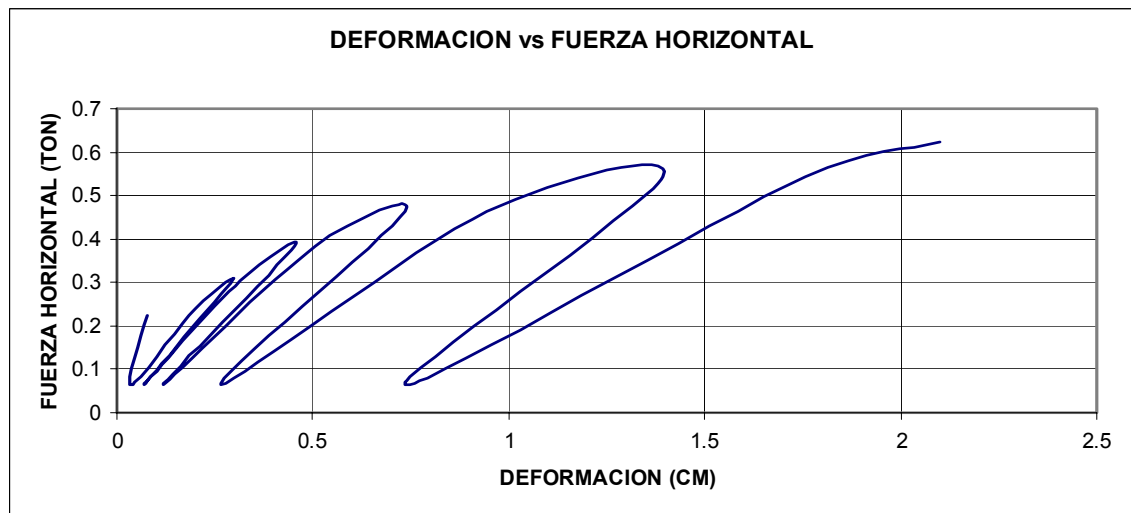
VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 1400 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 0.624563227 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 2.09804 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | | CM |

Tabla 11. Valores de falla espécimen 4



Grafica 11. Aplicación carga horizontal espécimen 4



Grafica 12. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 4

Análisis de resultados:

- Para la columna tres, el ensayo se inicia con la aplicación de carga horizontal como vertical, después se elimina la aplicación de la carga vertical y se observa un mejor comportamiento en cuanto a desplazamientos y se observa que el efecto de la carga horizontal ocasiona daños en los lugares esperados. (figura 42)
- Para la columna cuatro, el ensayo se lleva a cabo únicamente con la aplicación de la carga horizontal.
- Ambas columnas fallan bajo una carga horizontal de 0.62 Ton.



Figura 42. Falla de los especímenes 3 y 4

ESPECIMEN 5 y 6

Descripción: columnas cubiertas con una vuelta de S.C.O.

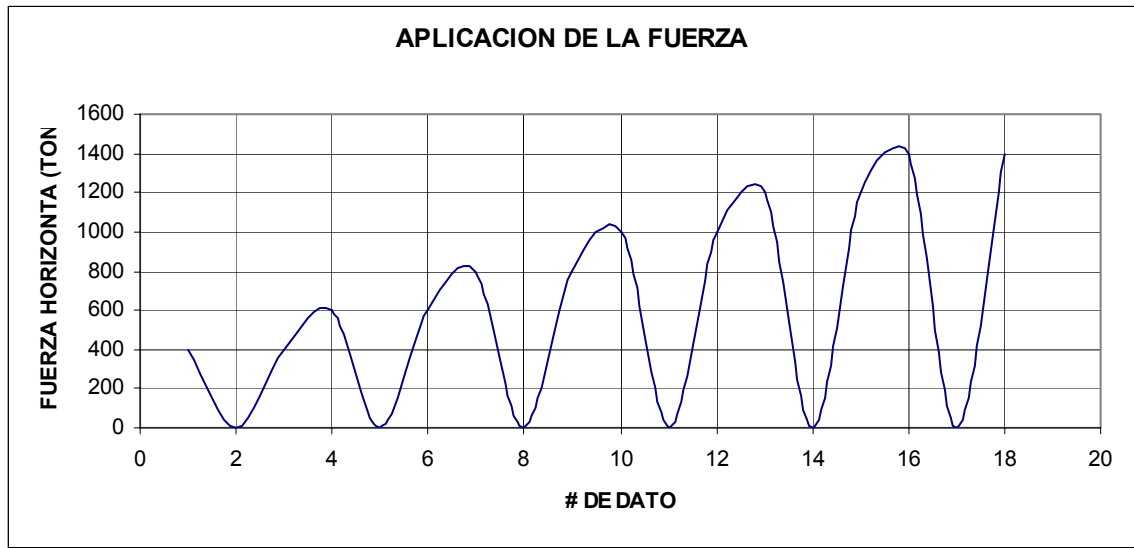
Procedimiento: Es el mismo que se le aplicó a las columnas tres y cuatro. Los datos registrados de las columnas cinco y seis se presentan en los anexos 6 y 7, respectivamente.

Resultados: Se presentan los valores de falla de las dos columnas en la tabla 12 para el espécimen 5 y la tabla 13 para el espécimen 6, al igual que las gráficas 13,14, 15 y 16 presentan la historia de aplicación de la carga horizontal.

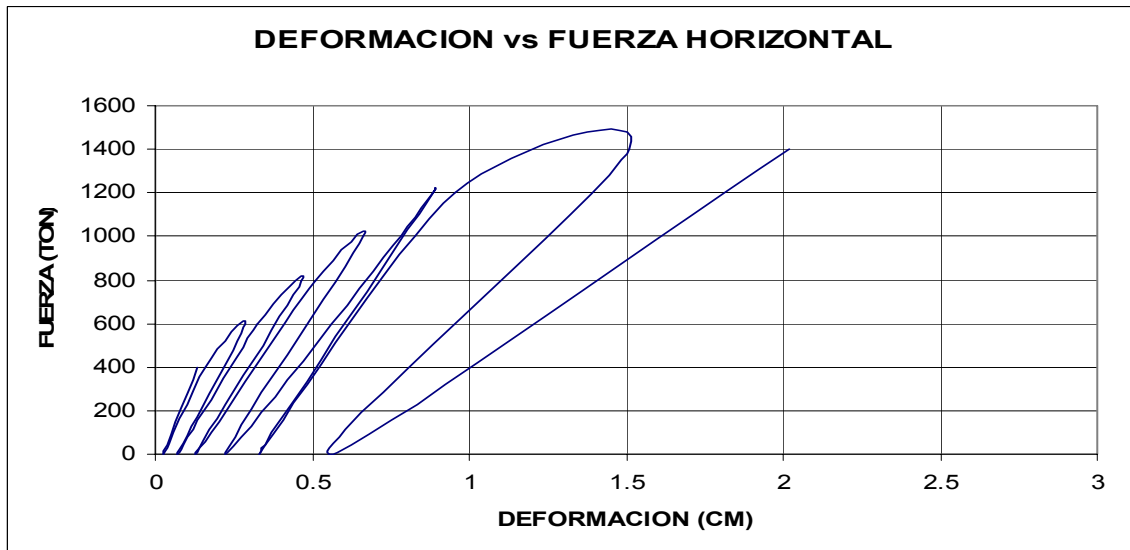
VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 1400 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 0.624563227 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 2.52222 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | | CM |

Tabla 12. Valores de falla espécimen 5



Grafica 13. Aplicación carga horizontal espécimen 5

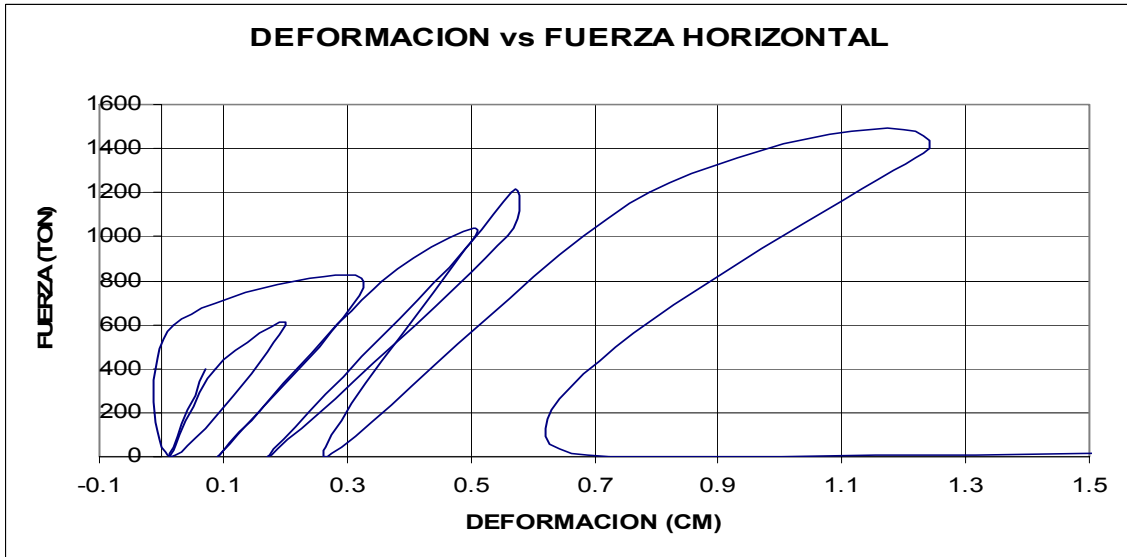


Grafica 14. Deformación vs Fuerza horizontal espécimen 5

VALORES DE FALLA

| | | | |
|-----------------------------|---|-------------------|-----|
| PRESION VERTICAL APLICADA | = | | PSI |
| PRESION HORIZONTAL APLICADA | = | 1400 | PSI |
| FUERZA HORIZONTAL | = | 0.62456323 | TON |
| FUERZA VERTICAL | = | | TON |
| DEFORMACION HORIZONTAL | = | 1.24206 | CM |
| DEFORMACION VERTICAL | = | | CM |

Tabla 13. Valores de falla espécimen 6



Grafica 15. Aplicación fuerza horizontal espécimen 6

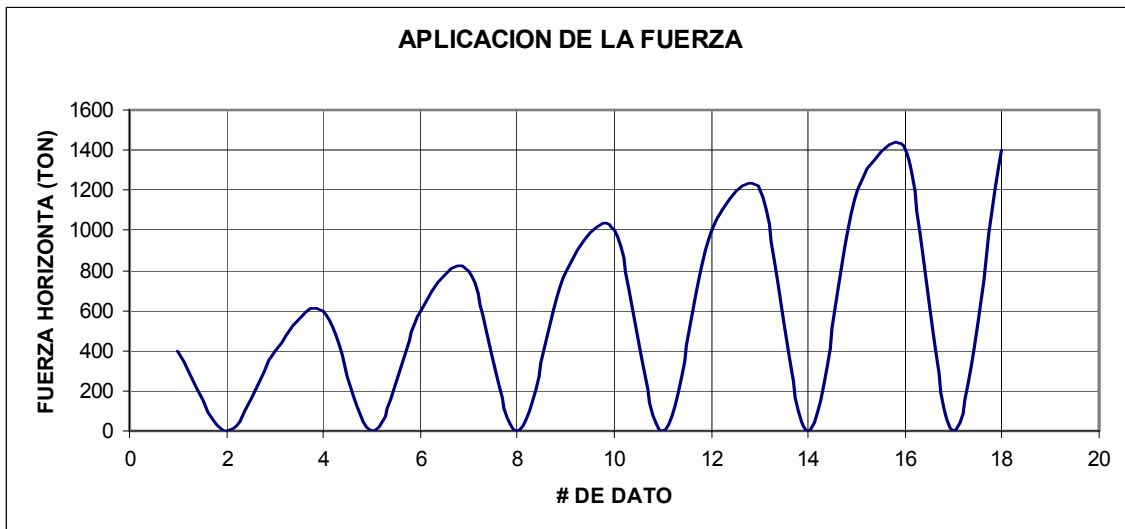


Grafico 16. Deformación vs fuerza horizontal espécimen 6



Figura 43. Falla columnas 5 y 6

Análisis de resultados:

- Ambas columnas quedaron con deformaciones permanentes como era de esperarse. Ver figura 43

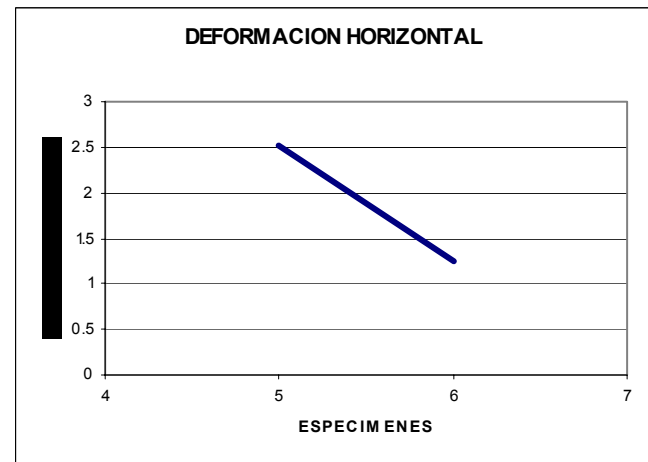
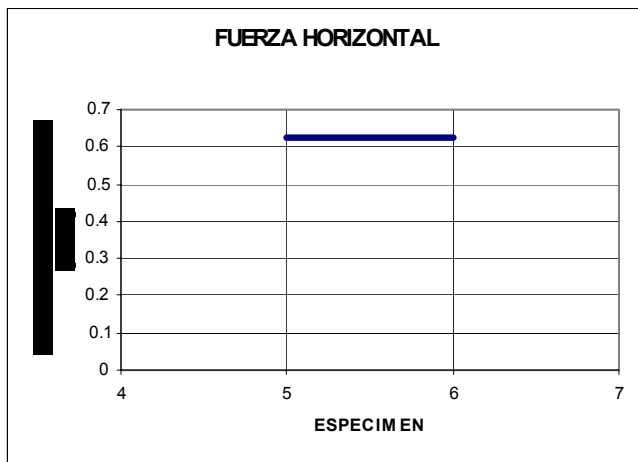
- Las fallas fueron las esperada bajo una carga de 0.62 Ton en ambas columnas.

Análisis para las columnas con recubrimiento de 1 vuelta con S.C.O.

Ambas columnas se comparan y el gráfico 17 muestra los resultados

VALORES DE FALLA

| ESPECIMEN | FUERZA H | DEFORMACION H |
|-----------|------------|---------------|
| 5 | 0.62456323 | 2.52222 |
| 6 | 0.62456323 | 1.24206 |



Grafica 17. Comparación de fuerza y deformación de espécimen 5 y 6

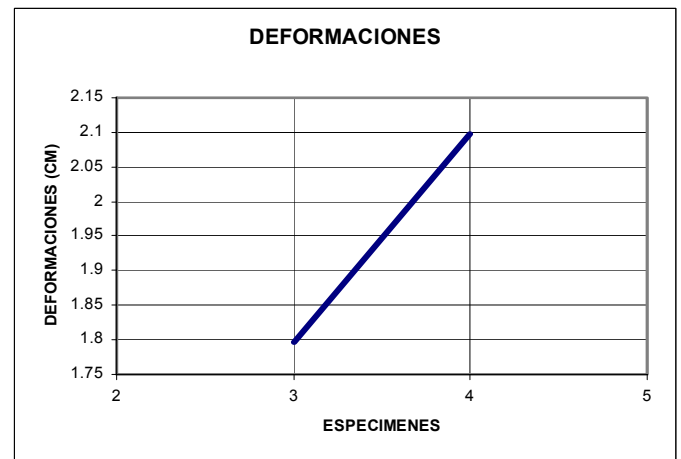
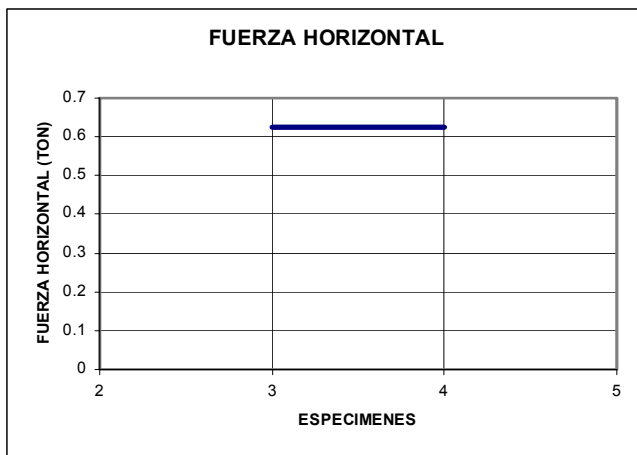
Comparando los gráficos, ambas columnas respondieron de igual forma. la única diferencia f en cuanto a la deformación final, esta diferencia resultó ser del 50% mas para la columna cinco.

Comparación para las columnas con recubrimiento de 2 vuelta con S.C.O.

Ambas columnas se comparan y los gráficos tales muestran los resultados de estas comparaciones

VALORES DE FALLA

| ESPECIMEN | FUERZA H | DEFORMACION I |
|-----------|------------|---------------|
| 3 | 0.62456323 | 1.79578 |
| 4 | 0.62456323 | 2.09804 |



Grafica 18. Comparación de fuerza y deformación de espécimen 3 y 4

Ambas columnas respondieron igual a la aplicación de la carga horizontal. Al igual que el conjunto de columnas anterior la diferencia estuvo en la deformación con una diferencia del 30 %, siendo la deformación mayor para la cuarta columna.

4. CONCLUSIONES

- Se diseño Un método de prueba para evaluar el comportamiento de columnas con las condiciones reales.
- Se elaboraron los especimenes manejando una escala reducida(1:3).
- El S.C.O usado está compuesto de un epóxico de dos componentes de relación 2:1, y malla de fique de ecofibras. Obteniéndose con este buenos resultados.
- La resistencia de las columnas reforzadas con S.C.O., aumentó en un cuarenta por ciento (40%).
- La resistencia de las columnas que tenían una vuelta con S.C.O. fue cercana a la resistencia de aquellas columnas con dos vueltas con S.C.O.
- La resistencia de los especimenes que tenían una vuelta de S.C.O. fue cercana para aquellos que tenían dos vueltas.

- La primera falla de los dos primeros especímenes ensayados (columna testigo y columna con dos vueltas de S.C.O.), no ocurrió en el sitio de la columna donde se esperaba (en la base), porque las condiciones de libertad de movimiento del extremo superior de la columna no fueron las adecuadas y hubo una concentración de esfuerzo en la parte superior.
- Se observó claramente el comportamiento elástico del hormigón
- El S.C.O. presenta una excelente adherencia con el concreto, nunca se vio fisuras ni desprendimientos.
- El S.C.O. por aumentar la resistencia en columnas de concreto reforzado es una opción para rehabilitación estructural.

5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Marco, gatos, sistemas de medición y apoyo inferior trabajaron de la forma esperada.
- Debe mejorarse el sistema de apoyo superior que permita desplazamientos horizontales y verticales con el mínimo de fricción
- En el proceso de prueba de los especímenes, es necesario que se espere un tiempo prudente entre cambio y cambio de carga, esto para permitir que la columna haga los desplazamientos completos y que los manómetros de glicerina se estabilicen.
- Se recomienda el desarrollo de un epóxico propio INME, que ofrezca una opción dentro de los existentes
- Para posteriores estudios se debe diseñar el experimento teniendo en cuenta el número de especímenes por cada condición para esperar buena confiabilidad de los resultados
- Se deben estudiar columnas con diferentes secciones transversales, v.g. circulares.

- Estudiar otras variables, como traslapes, colocación del refuerzo, número de capas del SCO y otros que aporten en el uso de estos sistemas de reforzamiento.
- Prestar atención a la calibración de equipos y capacidad de los mismos

BIBLIOGRAFIA

NILSON, Arthur. Diseño de estructuras de concreto. Duodécima edición. Santa Fe de Bogotá: Mc Graw Hill: 1999.

SEGURA, Jorge I. Estructuras de concreto I. Cuarta edición. Santa Fe de Bogotá: Derechos Editoriales reservados. 1999.

HARRIS, Harry G; SABNIS, Gajanan M. Structural modeling and experimental techniques. Segunda edición. Washington D.C. Editorial C.R.C: 1999.

Normas colombianas de diseño de construcciones sismorresistentes NSR – 98. Tomo I. Santa Fe de Bogotá: 1999.

FERGUSON, Phil. Teoría elemental del concreto reforzado. Novena edición. México. Editorial Continental: 1982

COMBARIZA, Edgar; MARTINEZ, Julio Alfonso. Uso de la malla de fique como refuerzo externo de elementos de concreto sometidos a compresión. Tesis de grado. Bucaramanga. UIS: 2000.

SIERRA, Alberto; MARTINEZ, Jose Fernando. Reforzamiento estructural con sistemas compuestos orgánicos. Tesis de grado, Bucaramanga. UIS: 2002.

ANEXOS

Anexo 1. Valores diagrama interacción

| DATOS | | | | | | | |
|--------------|----------|------------|-------------|----------------|------------|--------|------|
| H(altura) cm | ancho cm | CB cm | As(Tension) | As(Compresion) | D' cm | D cm | β |
| 10.0000 | 10.0000 | 6.1749 | 0.5654 | 0.5654 | 1.0000 | 9.0000 | 0.85 |
| ES | | ES | εY | FC (Kg/cm2) | FY(kg/cm2) | εU | |
| | | 2040000.00 | 0.00137 | 210.00 | 2800.00 | 0.0030 | |

| C | A | FS | FS' | FS'DEF | fsdef | C | PN | MN | E | pn(ton) | Mn(ton*cm) |
|------|------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|-------|---------|------------|
| 6.17 | 5.25 | 2800.00 | 5128.89 | 2800.00 | 2800.00 | 9368.85 | 9368.85 | 34922.28 | 3.73 | 9.37 | 34.9222775 |
| C | A | FS | FS' | FS'DEF | fsdef | C | PN | MN | E | pn(ton) | Mn(ton*cm) |
| 6.17 | 5.25 | 2800.00 | 5128.89 | 2800.00 | 2800.00 | 9368.85 | 9368.85 | 34922.28 | 3.73 | 9.37 | 34.9222775 |
| 1.10 | 0.94 | 43952.73 | 556.36 | 556.36 | 2800.00 | 1668.98 | 400.42 | 15155.38 | 37.85 | 0.40 | 15.1553812 |
| 1.25 | 1.06 | 37944.00 | 1224.00 | 1224.00 | 2800.00 | 1896.56 | 1005.49 | 17575.94 | 17.48 | 1.01 | 17.5759421 |
| 1.50 | 1.28 | 30600.00 | 2040.00 | 2040.00 | 2800.00 | 2275.88 | 1846.17 | 20874.65 | 11.31 | 1.85 | 20.8746487 |
| 1.75 | 1.49 | 25354.29 | 2622.86 | 2622.86 | 2800.00 | 2655.19 | 2555.03 | 23565.48 | 9.22 | 2.56 | 23.5654755 |
| 2.00 | 1.70 | 21420.00 | 3060.00 | 2800.00 | 2800.00 | 3034.50 | 3034.50 | 25258.14 | 8.32 | 3.03 | 25.258135 |
| 2.25 | 1.91 | 18360.00 | 3400.00 | 2800.00 | 2800.00 | 3413.81 | 3413.81 | 26469.56 | 7.75 | 3.41 | 26.4695643 |
| 2.50 | 2.13 | 15912.00 | 3672.00 | 2800.00 | 2800.00 | 3793.13 | 3793.13 | 27600.39 | 7.28 | 3.79 | 27.6003897 |
| 2.75 | 2.34 | 13909.09 | 3894.55 | 2800.00 | 2800.00 | 4172.44 | 4172.44 | 28650.61 | 6.87 | 4.17 | 28.6506112 |
| 3.00 | 2.55 | 12240.00 | 4080.00 | 2800.00 | 2800.00 | 4551.75 | 4551.75 | 29620.23 | 6.51 | 4.55 | 29.6202288 |
| 3.25 | 2.76 | 10827.69 | 4236.92 | 2800.00 | 2800.00 | 4931.06 | 4931.06 | 30509.24 | 6.19 | 4.93 | 30.5092424 |
| 3.50 | 2.98 | 9617.14 | 4371.43 | 2800.00 | 2800.00 | 5310.38 | 5310.38 | 31317.65 | 5.90 | 5.31 | 31.3176522 |
| 3.75 | 3.19 | 8568.00 | 4488.00 | 2800.00 | 2800.00 | 5689.69 | 5689.69 | 32045.46 | 5.63 | 5.69 | 32.045458 |
| 4.00 | 3.40 | 7650.00 | 4590.00 | 2800.00 | 2800.00 | 6069.00 | 6069.00 | 32692.66 | 5.39 | 6.07 | 32.69266 |
| 4.25 | 3.61 | 6840.00 | 4680.00 | 2800.00 | 2800.00 | 6448.31 | 6448.31 | 33259.26 | 5.16 | 6.45 | 33.259258 |
| 4.50 | 3.83 | 6120.00 | 4760.00 | 2800.00 | 2800.00 | 6827.63 | 6827.63 | 33745.25 | 4.94 | 6.83 | 33.7452522 |
| 4.75 | 4.04 | 5475.79 | 4831.58 | 2800.00 | 2800.00 | 7206.94 | 7206.94 | 34150.64 | 4.74 | 7.21 | 34.1506424 |
| 5.00 | 4.25 | 4896.00 | 4896.00 | 2800.00 | 2800.00 | 7586.25 | 7586.25 | 34475.43 | 4.54 | 7.59 | 34.4754288 |
| 5.25 | 4.46 | 4371.43 | 4954.29 | 2800.00 | 2800.00 | 7965.56 | 7965.56 | 34719.61 | 4.36 | 7.97 | 34.7196112 |
| 5.50 | 4.68 | 3894.55 | 5007.27 | 2800.00 | 2800.00 | 8344.88 | 8344.88 | 34883.19 | 4.18 | 8.34 | 34.8831897 |
| 5.75 | 4.89 | 3459.13 | 5055.65 | 2800.00 | 2800.00 | 8724.19 | 8724.19 | 34966.16 | 4.01 | 8.72 | 34.9661643 |
| 6.00 | 5.10 | 3060.00 | 5100.00 | 2800.00 | 2800.00 | 9103.50 | 9103.50 | 34968.54 | 3.84 | 9.10 | 34.968535 |
| 6.25 | 5.31 | 2692.80 | 5140.80 | 2800.00 | 2692.80 | 9482.81 | 9543.42 | 34647.86 | 3.63 | 9.54 | 34.6478583 |
| 6.50 | 5.53 | 2353.85 | 5178.46 | 2800.00 | 2353.85 | 9862.13 | 10114.38 | 33722.44 | 3.33 | 10.11 | 33.7224431 |
| 6.75 | 5.74 | 2040.00 | 5213.33 | 2800.00 | 2040.00 | 10241.44 | 10671.14 | 32773.21 | 3.07 | 10.67 | 32.7732077 |
| 7.00 | 5.95 | 1748.57 | 5245.71 | 2800.00 | 1748.57 | 10620.75 | 11215.23 | 31794.07 | 2.83 | 11.22 | 31.7940679 |
| 7.25 | 6.16 | 1477.24 | 5275.86 | 2800.00 | 1477.24 | 11000.06 | 11747.95 | 30779.78 | 2.62 | 11.75 | 30.779779 |
| 7.50 | 6.38 | 1224.00 | 5304.00 | 2800.00 | 1224.00 | 11379.38 | 12270.45 | 29725.80 | 2.42 | 12.27 | 29.7257956 |
| 7.75 | 6.59 | 987.10 | 5330.32 | 2800.00 | 987.10 | 11758.69 | 12783.70 | 28628.16 | 2.24 | 12.78 | 28.6281586 |
| 8.00 | 6.80 | 765.00 | 5355.00 | 2800.00 | 765.00 | 12138.00 | 13288.59 | 27483.40 | 2.07 | 13.29 | 27.483404 |
| 8.25 | 7.01 | 556.36 | 5378.18 | 2800.00 | 556.36 | 12517.31 | 13785.86 | 26288.49 | 1.91 | 13.79 | 26.2884875 |
| 8.50 | 7.23 | 360.00 | 5400.00 | 2800.00 | 360.00 | 12896.63 | 14276.20 | 25040.72 | 1.75 | 14.28 | 25.0407232 |
| 8.75 | 7.44 | 174.86 | 5420.57 | 2800.00 | 174.86 | 13275.94 | 14760.19 | 23737.73 | 1.61 | 14.76 | 23.7377318 |
| 9.00 | 7.65 | 0.00 | 5440.00 | 2800.00 | 0.00 | 13655.25 | 15238.37 | 22377.40 | 1.47 | 15.24 | 22.3773988 |

Anexo 2. Resultados espécimen 1

| # | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001") | | DEFORMACION (CM) | | FUERZA REAL APLICADA | |
|----|---------------|------------|--------------|-------------|----------------------|------------|------------------|------------|----------------------|--|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICA | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | |
| 1 | 200 | 0 | 1.62788584 | 0.064854276 | 0.46 | 0.8 | 0.11684 | 0.2032 | 1.661688076 | |
| 2 | 400 | 0 | 2.53681149 | 0.064854276 | 0.6 | 0.9 | 0.1524 | 0.2286 | 2.570073519 | |
| 3 | 600 | 0 | 3.44573714 | 0.064854276 | 0.74 | 0.9 | 0.18796 | 0.2286 | 3.478453963 | |
| 4 | 800 | 0 | 4.35466279 | 0.064854276 | 0.83 | 0.93 | 0.21082 | 0.23622 | 4.387037338 | |
| 5 | 1000 | 0 | 5.26358844 | 0.064854276 | 0.92 | 0.94 | 0.23368 | 0.23876 | 5.295615712 | |
| 6 | 1200 | 0 | 6.17251409 | 0.064854276 | 1.01 | 0.95 | 0.25654 | 0.2413 | 6.204194087 | |
| 7 | 1400 | 0 | 7.08143974 | 0.064854276 | 1.09 | 0.97 | 0.27686 | 0.24638 | 7.112811047 | |
| 8 | 1600 | 0 | 7.99036539 | 0.064854276 | 1.18 | 0.98 | 0.29972 | 0.24892 | 8.021389422 | |
| 9 | 1800 | 0 | 8.89929104 | 0.064854276 | 1.26 | 0.98 | 0.32004 | 0.24892 | 8.930006382 | |
| 10 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.33 | 0.985 | 0.33782 | 0.25019 | 9.838661929 | |
| 11 | 2000 | 200 | 9.80821669 | 0.144812697 | | 0.96 | 0 | 0.24384 | 9.843793888 | |
| 12 | 2000 | 400 | 9.80821669 | 0.224771119 | 1.37 | 0.99 | 0.34798 | 0.25146 | 9.838607585 | |
| 13 | 2000 | 600 | 9.80821669 | 0.304729541 | 1.39 | 1.02 | 0.35306 | 0.25908 | 9.838430412 | |
| 14 | 2000 | 800 | 9.80821669 | 0.384687962 | 1.4 | 1.035 | 0.3566 | 0.26289 | 9.838391826 | |
| 15 | 2000 | 1000 | 9.80821669 | 0.464646384 | 1.41 | 1.056 | 0.35814 | 0.268224 | 9.83835324 | |
| 16 | 2000 | 1200 | 9.80821669 | 0.544604806 | 1.419 | 1.07 | 0.360426 | 0.27178 | 9.838318512 | |
| 17 | 2000 | 1400 | 9.80821669 | 0.624563227 | 1.43 | 1.09 | 0.36322 | 0.27686 | 9.838276068 | |
| 18 | 2000 | 1600 | 9.80821669 | 0.704521649 | 1.45 | 1.115 | 0.3663 | 0.28321 | 9.838196895 | |
| 19 | 2000 | 1800 | 9.80821669 | 0.78448007 | 1.46 | 1.14 | 0.37084 | 0.28956 | 9.838160309 | |
| 20 | 2000 | 2000 | 9.80821669 | 0.864438492 | 1.48 | 1.165 | 0.37592 | 0.29591 | 9.838083137 | |
| 21 | 2000 | 2200 | 9.80821669 | 0.944396914 | 1.48 | 1.18 | 0.37592 | 0.29972 | 9.838083137 | |
| 22 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.44 | 1.05 | 0.35576 | 0.2667 | 9.838237481 | |
| 23 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.51 | 1.2 | 0.38354 | 0.3048 | 9.837967378 | |
| 24 | 2000 | 2400 | 9.80821669 | 1.024355335 | 1.52 | 1.22 | 0.38608 | 0.30988 | 9.837928792 | |
| 25 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.41 | 1.06 | 0.35814 | 0.26924 | 9.83835324 | |
| 26 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.52 | 1.22 | 0.38608 | 0.30988 | 9.837928792 | |
| 27 | 2000 | 2600 | 9.80821669 | 1.104313757 | 1.53 | 1.245 | 0.38862 | 0.31623 | 9.837890206 | |
| 28 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.42 | 1.07 | 0.36068 | 0.27178 | 9.838314654 | |
| 29 | 2000 | 2600 | 9.80821669 | 1.104313757 | 1.53 | 1.25 | 0.38862 | 0.3175 | 9.837890206 | |
| 30 | 2000 | 2800 | 9.80821669 | 1.184272178 | 1.55 | 1.29 | 0.3937 | 0.32766 | 9.837813034 | |
| 31 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.42 | 1.08 | 0.36068 | 0.27432 | 9.838314654 | |
| 32 | 2000 | 2800 | 9.80821669 | 1.184272178 | 1.54 | 1.29 | 0.39116 | 0.32766 | 9.83785162 | |
| 33 | 2000 | 3000 | 9.80821669 | 1.2642306 | 1.55 | 1.31 | 0.3937 | 0.33274 | 9.837813034 | |
| 34 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.42 | 1.1 | 0.36068 | 0.2794 | 9.838314654 | |
| 35 | 2000 | 3000 | 9.80821669 | 1.2642306 | 1.56 | 1.33 | 0.39624 | 0.33782 | 9.837774448 | |
| 36 | 2000 | 3200 | 9.80821669 | 1.344189022 | 1.56 | 1.35 | 0.39624 | 0.3429 | 9.837774448 | |
| 37 | 2000 | 0 | 9.80821669 | 0.064854276 | 1.43 | 1.11 | 0.36322 | 0.28194 | 9.838276068 | |
| 38 | 2000 | 3200 | 9.80821669 | 1.344189022 | 1.57 | 1.37 | 0.39878 | 0.34798 | 9.837735861 | |
| 39 | 2200 | 3400 | 10.7171423 | 1.424147443 | 1.58 | 1.39 | 0.40132 | 0.35306 | 10.74662293 | |
| 40 | 2400 | 0 | 11.62608 | 0.064854276 | 1.465 | 1.14 | 0.37211 | 0.28956 | 11.65599232 | |
| 41 | 2600 | 3400 | 12.5349936 | 1.424147443 | 1.58 | 1.4 | 0.40132 | 0.3556 | 12.56447422 | |
| 42 | 2800 | 3600 | 13.4439193 | 1.504105865 | 1.58 | 1.43 | 0.40132 | 0.36322 | 13.47339987 | |
| 43 | 3000 | 0 | 14.3528449 | 0.064854276 | 1.435 | 1.16 | 0.36449 | 0.29464 | 14.38288602 | |
| 44 | 3200 | 3600 | 15.2617706 | 1.504105865 | 1.59 | 1.45 | 0.40386 | 0.3683 | 15.29121259 | |
| 45 | 3400 | 3800 | 16.1706962 | 1.584064287 | 1.6 | 1.48 | 0.4064 | 0.37592 | 16.20009965 | |
| 46 | 3600 | 0 | 17.0796219 | 0.064854276 | 1.45 | 1.19 | 0.3663 | 0.30226 | 17.10960409 | |
| 47 | 3800 | 3800 | 17.9885475 | 1.584064287 | 1.6 | 1.49 | 0.4064 | 0.37846 | 18.01795095 | |
| 48 | 4000 | 4200 | 18.8974732 | 1.74398113 | 1.62 | 1.545 | 0.41148 | 0.39243 | 18.92679943 | |
| 49 | 4200 | 0 | 19.8063988 | 0.064854276 | 1.44 | 1.22 | 0.36576 | 0.30988 | 19.83641963 | |
| 50 | 4400 | 4200 | 20.7153245 | 1.74398113 | | | 0 | 0 | 20.75090169 | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------------|-------------|------|-------|---------|---------|-------------|
| 51 | 2200 | 0 | 10.7171423 | 0.064854276 | 1.48 | 1.19 | 0.37592 | 0.30226 | 10.74700879 |
| 52 | 2400 | 0 | 11.626068 | 0.064854276 | 1.49 | 1.145 | 0.37846 | 0.29083 | 11.65589585 |
| 53 | 2600 | 0 | 12.5349936 | 0.064854276 | 1.52 | 1.11 | 0.38608 | 0.28194 | 12.56470574 |
| 54 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.54 | 1.03 | 0.39116 | 0.26162 | 13.47355422 |
| 55 | 2800 | 200 | 13.4439193 | 0.144812697 | | | 0 | 0 | 13.47949649 |
| 56 | 2800 | 400 | 13.4439193 | 0.224771119 | | | 0 | 0 | 13.47949649 |
| 57 | 2800 | 600 | 13.4439193 | 0.304729541 | 1.58 | 1.08 | 0.40132 | 0.27432 | 13.47339987 |
| 58 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.55 | 1.03 | 0.3937 | 0.26162 | 13.47351553 |
| 59 | 2800 | 600 | 13.4439193 | 0.304729541 | 1.58 | 1.07 | 0.40132 | 0.27178 | 13.47339987 |
| 60 | 2800 | 1000 | 13.4439193 | 0.464646384 | 1.6 | 1.09 | 0.4064 | 0.27686 | 13.4733227 |
| 61 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.52 | 1.03 | 0.38608 | 0.26162 | 13.47363139 |
| 62 | 2800 | 1000 | 13.4439193 | 0.464646384 | 1.6 | 1.09 | 0.4064 | 0.27686 | 13.4733227 |
| 63 | 2800 | 1600 | 13.4439193 | 0.704521649 | 1.63 | 1.13 | 0.41402 | 0.28702 | 13.47320694 |
| 64 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.57 | 1.04 | 0.39878 | 0.26416 | 13.47343846 |
| 65 | 2800 | 1600 | 13.4439193 | 0.704521649 | 1.64 | 1.135 | 0.41655 | 0.28829 | 13.47316836 |
| 66 | 2800 | 2000 | 13.4439193 | 0.864438492 | 1.65 | 1.16 | 0.4191 | 0.29464 | 13.47312977 |
| 67 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.57 | 1.04 | 0.39878 | 0.26416 | 13.47343846 |
| 68 | 2800 | 2000 | 13.4439193 | 0.864438492 | 1.67 | 1.165 | 0.42418 | 0.29591 | 13.4730526 |
| 69 | 2800 | 3000 | 13.4439193 | 1.2642306 | 1.69 | 1.245 | 0.42926 | 0.31623 | 13.47297543 |
| 70 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.59 | 1.03 | 0.40366 | 0.26162 | 13.47336129 |
| 71 | 2800 | 3000 | 13.4439193 | 1.2642306 | 1.72 | 1.23 | 0.43688 | 0.31242 | 13.47285957 |
| 72 | 2800 | 4000 | 13.4439193 | 1.664022708 | 1.77 | 1.33 | 0.44958 | 0.33782 | 13.47266574 |
| 73 | 2800 | 0 | 13.4439193 | 0.064854276 | 1.64 | 1.07 | 0.41655 | 0.27178 | 13.47316836 |
| 74 | 3000 | 0 | 14.3528449 | 0.064854276 | 1.65 | 1.03 | 0.4191 | 0.26162 | 14.38205542 |
| 75 | 3200 | 0 | 15.2617706 | 0.064854276 | 1.66 | 1 | 0.42164 | 0.254 | 15.29094249 |
| 76 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.68 | 0.92 | 0.42672 | 0.23368 | 16.19979096 |
| 77 | 3400 | 600 | 16.1706962 | 0.304729541 | 1.74 | 0.96 | 0.44196 | 0.24384 | 16.19955945 |
| 78 | 3400 | 600 | 16.1706962 | 0.304729541 | 1.71 | 0.92 | 0.43434 | 0.23368 | 16.1996752 |
| 79 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.74 | 0.95 | 0.44196 | 0.2413 | 16.19955945 |
| 80 | 3400 | 1200 | 16.1706962 | 0.544604806 | 1.78 | 0.98 | 0.45212 | 0.24892 | 16.1994051 |
| 81 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.73 | 0.92 | 0.43942 | 0.23368 | 16.1995803 |
| 82 | 3400 | 1200 | 16.1706962 | 0.544604806 | 1.78 | 0.97 | 0.45212 | 0.24638 | 16.1994051 |
| 83 | 3400 | 2000 | 16.1706962 | 0.864438492 | 1.82 | 0.99 | 0.46228 | 0.25146 | 16.19925076 |
| 84 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.75 | 0.93 | 0.4445 | 0.23622 | 16.19952086 |
| 85 | 3400 | 2000 | 16.1706962 | 0.864438492 | 1.85 | 1.05 | 0.4699 | 0.2657 | 16.199135 |
| 86 | 3400 | 2200 | 16.1706962 | 0.944396914 | 1.86 | 1.065 | 0.47244 | 0.27051 | 16.19903641 |
| 87 | 3400 | 2400 | 16.1706962 | 1.024355335 | 1.87 | 1.08 | 0.47498 | 0.27432 | 16.19905783 |
| 88 | 3400 | 2600 | 16.1706962 | 1.104313757 | 1.87 | 1.09 | 0.47498 | 0.27686 | 16.19905783 |
| 89 | 3400 | 2800 | 16.1706962 | 1.184272178 | 1.88 | 1.11 | 0.47752 | 0.28194 | 16.19901924 |
| 90 | 3400 | 3000 | 16.1706962 | 1.2642306 | 1.89 | 1.13 | 0.48006 | 0.28702 | 16.19898055 |
| 91 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.8 | 0.95 | 0.4572 | 0.24384 | 16.19932793 |
| 92 | 3400 | 3000 | 16.1706962 | 1.2642306 | 1.91 | 1.14 | 0.48514 | 0.28955 | 16.19890348 |
| 93 | 3400 | 3200 | 16.1706962 | 1.344189022 | 1.92 | 1.16 | 0.48768 | 0.29464 | 16.1988649 |
| 94 | 3400 | 3400 | 16.1706962 | 1.424147443 | 1.93 | 1.17 | 0.49022 | 0.29718 | 16.19882631 |
| 95 | 3400 | 3600 | 16.1706962 | 1.504105865 | 1.95 | 1.2 | 0.4953 | 0.3048 | 16.19874914 |
| 96 | 3400 | 3800 | 16.1706962 | 1.584064287 | 1.96 | 1.11 | 0.49784 | 0.28194 | 16.19871055 |
| 97 | 3400 | 4000 | 16.1706962 | 1.664022708 | 1.97 | 1.23 | 0.50038 | 0.31242 | 16.19867196 |
| 98 | 3400 | 0 | 16.1706962 | 0.064854276 | 1.84 | 0.98 | 0.46736 | 0.24892 | 16.19917358 |
| 99 | 3600 | 0 | 17.0795219 | 0.064854276 | 1.86 | 0.9 | 0.47244 | 0.2286 | 17.10802206 |
| 100 | 3800 | 0 | 17.9885475 | 0.064854276 | 1.89 | 0.75 | 0.48006 | 0.1905 | 18.01683195 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------------|-------------|------------|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------------|
| 101 | 3800 | 600 | 17.9885475 | 0.304729541 | 1.93 | 0.77 | 0.49022 | 0.19558 | 18.01667761 |
| 102 | 3800 | 800 | 17.9885475 | 0.384687962 | 1.95 | 0.79 | 0.4953 | 0.20066 | 18.01660044 |
| 103 | 3800 | 0 | 17.9885475 | 0.064854276 | 1.92 | 0.74 | 0.48768 | 0.18796 | 18.01671619 |
| 104 | 3800 | 800 | 17.9885475 | 0.384687962 | 1.95 | 0.78 | 0.4953 | 0.19812 | 18.01660044 |
| 105 | 3800 | 1000 | 17.9885475 | 0.464646384 | 1.96 | 0.8 | 0.49784 | 0.2032 | 18.01656185 |
| 106 | 3800 | 1200 | 17.9885475 | 0.544604806 | 1.97 | 0.81 | 0.50038 | 0.20574 | 18.01652326 |
| 107 | 3800 | 1400 | 17.9885475 | 0.624563227 | 1.985 | 0.825 | 0.50419 | 0.20955 | 18.01646538 |
| 108 | 3800 | 1600 | 17.9885475 | 0.704521649 | 2 | 0.84 | 0.508 | 0.21336 | 18.01640751 |
| 109 | 3800 | 1800 | 17.9885475 | 0.78448007 | 2.02 | 0.86 | 0.51308 | 0.21844 | 18.01633033 |
| 110 | 3800 | 2000 | 17.9885475 | 0.864438492 | 2.025 | 0.88 | 0.51435 | 0.22352 | 18.01631104 |
| 111 | 3800 | 0 | 17.9885475 | 0.064854276 | 1.94 | 0.76 | 0.49276 | 0.19304 | 18.01663902 |
| 112 | 3800 | 2000 | 17.9885475 | 0.864438492 | 2.03 | 0.88 | 0.51562 | 0.22352 | 18.01629175 |
| 113 | 3800 | 2200 | 17.9885475 | 0.944396914 | 0.04 | 0.89 | 0.01016 | 0.22606 | 18.02397039 |
| 114 | 3800 | 2400 | 17.9885475 | 1.024355335 | 2.04 | 0.9 | 0.51816 | 0.2286 | 18.01625316 |
| 115 | 3800 | 2600 | 17.9885475 | 1.104313757 | 2.05 | 0.925 | 0.5207 | 0.23495 | 18.01621457 |
| 116 | 3800 | 2800 | 17.9885475 | 1.184272178 | 2.06 | 0.95 | 0.52324 | 0.2413 | 18.01617599 |
| 117 | 3800 | 3000 | 17.9885475 | 1.2642306 | 2.07 | 0.97 | 0.52578 | 0.24638 | 18.0161374 |
| 118 | 3800 | 0 | 17.9885475 | 0.064854276 | 1.96 | 0.78 | 0.49784 | 0.19812 | 18.01656185 |
| 119 | 3800 | 3000 | 17.9885475 | 1.2642306 | 2.07 | 0.97 | 0.52578 | 0.24638 | 18.0161374 |
| 120 | 3800 | 3200 | 17.9885475 | 1.344189022 | 2.09 | 0.99 | 0.53086 | 0.25146 | 18.01606023 |
| 121 | 3800 | 3400 | 17.9885475 | 1.424147443 | 2.1 | 1.02 | 0.5334 | 0.48768 | 18.01602164 |
| 122 | 3800 | 3600 | 17.9885475 | 1.504105865 | 2.12 | 1.04 | 0.53848 | 0.26416 | 18.01594447 |
| 123 | 3800 | 3800 | 17.9885475 | 1.584064287 | 2.12 | 1.06 | 0.53848 | 0.26924 | 18.01594447 |
| 124 | 3800 | 4000 | 17.9885475 | 1.664022708 | 2.13 | 1.08 | 0.54102 | 0.27432 | 18.01590589 |
| 125 | 3800 | 4000 | 17.9885475 | 1.664022708 | 2.33 | 1.12 | 0.59182 | 0.28448 | 18.01513416 |

Anexo 3. Resultados espécimen 2

| # DATO | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001") | | DEFORMACION (CM) | | FUERZA REAL APLICADA |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------------|------------|----------------------|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICA | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL |
| 1 | 200 | 0 | 1.628 | 0.065 | | | 0 | 0 | 1.663 |
| 2 | 400 | 0 | 2.537 | 0.065 | 0.3 | -0.01 | 0.0762 | -0.00254 | 2.571 |
| 3 | 600 | 0 | 3.446 | 0.065 | 0.38 | -0.03 | 0.09652 | -0.00762 | 3.480 |
| 4 | 800 | 0 | 4.355 | 0.065 | 0.44 | -0.04 | 0.11176 | -0.01016 | 4.389 |
| 5 | 1000 | 0 | 5.264 | 0.065 | 0.5 | -0.05 | 0.127 | -0.0127 | 5.297 |
| 6 | 1200 | 0 | 6.173 | 0.065 | 0.575 | -0.05 | 0.14605 | -0.0127 | 6.206 |
| 7 | 1400 | 0 | 7.081 | 0.065 | 0.64 | -0.05 | 0.16256 | -0.0127 | 7.115 |
| 8 | 1600 | 0 | 7.990 | 0.065 | 0.71 | -0.05 | 0.18034 | -0.0127 | 8.023 |
| 9 | 1800 | 0 | 8.899 | 0.065 | 0.78 | -0.05 | 0.19812 | -0.0127 | 8.932 |
| 10 | 2000 | 0 | 9.808 | 0.065 | 0.88 | -0.05 | 0.22352 | -0.0127 | 9.840 |
| 11 | 2000 | 400 | 9.808 | 0.225 | 0.93 | 0 | 0.23622 | 0 | 9.840 |
| 12 | 2000 | 600 | 9.808 | 0.305 | 0.95 | 0.05 | 0.2413 | 0.0127 | 9.840 |
| 13 | 2000 | 800 | 9.808 | 0.385 | 0.96 | 0.07 | 0.24384 | 0.01778 | 9.840 |
| 14 | 2000 | 1000 | 9.808 | 0.465 | 0.97 | 0.1 | 0.24638 | 0.0254 | 9.840 |
| 15 | 2000 | 0 | 9.808 | 0.065 | 0.91 | 0.01 | 0.23114 | 0.00254 | 9.840 |
| 16 | 2000 | 1000 | 9.808 | 0.465 | 0.98 | 0.1 | 0.24892 | 0.0254 | 9.840 |
| 17 | 2000 | 1200 | 9.808 | 0.545 | 0.99 | 0.12 | 0.25146 | 0.03048 | 9.840 |
| 18 | 2000 | 1400 | 9.808 | 0.625 | 1 | 0.13 | 0.254 | 0.03302 | 9.840 |
| 19 | 2000 | 1600 | 9.808 | 0.705 | 1.01 | 0.15 | 0.25654 | 0.0381 | 9.840 |
| 20 | 2000 | 1800 | 9.808 | 0.784 | 1.02 | 0.18 | 0.25908 | 0.04572 | 9.840 |
| 21 | 2000 | 2000 | 9.808 | 0.864 | 1.03 | 0.2 | 0.26162 | 0.0508 | 9.840 |
| 22 | 2000 | 0 | 9.808 | 0.065 | 0.93 | 0.04 | 0.23622 | 0.01016 | 9.840 |
| 23 | 2000 | 2000 | 9.808 | 0.864 | 1.04 | 0.21 | 0.26416 | 0.05334 | 9.840 |
| 24 | 2000 | 2200 | 9.808 | 0.944 | 1.05 | 0.24 | 0.2667 | 0.06096 | 9.840 |
| 25 | 2000 | 2400 | 9.808 | 1.024 | 1.06 | 0.26 | 0.26924 | 0.06604 | 9.840 |
| 26 | 2000 | 2600 | 9.808 | 1.104 | 1.075 | 0.3 | 0.27305 | 0.0762 | 9.840 |
| 27 | 2000 | 2800 | 9.808 | 1.184 | 1.1 | 0.34 | 0.2794 | 0.08636 | 9.840 |
| 28 | 2000 | 3000 | 9.808 | 1.264 | 1.11 | 0.365 | 0.28194 | 0.09271 | 9.840 |
| 29 | 2000 | 0 | 9.808 | 0.065 | 0.96 | 0.1 | 0.24384 | 0.0254 | 9.840 |
| 30 | 2000 | 3000 | 9.808 | 1.264 | 1.11 | 0.375 | 0.28194 | 0.09525 | 9.840 |
| 31 | 2000 | 3200 | 9.808 | 1.344 | 1.13 | 0.41 | 0.28702 | 0.10414 | 9.839 |
| 32 | 2000 | 3400 | 9.808 | 1.424 | 1.15 | 0.455 | 0.2921 | 0.11557 | 9.839 |
| 33 | 2000 | 3600 | 9.808 | 1.504 | 1.17 | 0.51 | 0.29718 | 0.12954 | 9.839 |
| 34 | 2000 | 3800 | 9.808 | 1.584 | 1.19 | 0.57 | 0.30226 | 0.14478 | 9.839 |
| 35 | 2000 | 4000 | 9.808 | 1.664 | 1.205 | 0.62 | 0.30607 | 0.15748 | 9.839 |
| 36 | 2000 | 0 | 9.808 | 0.065 | 0.97 | 0.19 | 0.24638 | 0.04826 | 9.840 |
| 37 | 2200 | 0 | 10.717 | 0.065 | 1.035 | 0.16 | 0.26289 | 0.04064 | 10.749 |
| 38 | 2600 | 0 | 12.535 | 0.065 | 1.1 | 0.13 | 0.2794 | 0.03302 | 12.566 |
| 39 | 2800 | 0 | 13.444 | 0.065 | 1.2 | 0.09 | 0.3048 | 0.02286 | 13.475 |
| 40 | 2800 | 400 | 13.444 | 0.225 | 1.23 | 0.12 | 0.31242 | 0.03048 | 13.475 |
| 41 | 2800 | 600 | 13.444 | 0.305 | 1.25 | 0.14 | 0.3175 | 0.03556 | 13.475 |
| 42 | 2800 | 800 | 13.444 | 0.385 | 1.26 | 0.16 | 0.32004 | 0.04064 | 13.475 |
| 43 | 2800 | 1000 | 13.444 | 0.465 | 1.28 | 0.185 | 0.32512 | 0.04699 | 13.475 |
| 44 | 2800 | 0 | 13.444 | 0.065 | 1.28 | 0.12 | 0.32512 | 0.03048 | 13.475 |
| 45 | 2800 | 1000 | 13.444 | 0.465 | 1.33 | 0.17 | 0.33782 | 0.04318 | 13.474 |
| 46 | 2800 | 1200 | 13.444 | 0.545 | 1.36 | 0.19 | 0.34544 | 0.04826 | 13.474 |
| 47 | 2800 | 1400 | 13.444 | 0.625 | 1.38 | 0.21 | 0.35052 | 0.05334 | 13.474 |
| 48 | 2800 | 1600 | 13.444 | 0.705 | 1.385 | 0.23 | 0.35179 | 0.05842 | 13.474 |
| 49 | 2800 | 1800 | 13.444 | 0.784 | | | 0 | 0 | 13.479 |
| 50 | 2800 | 2000 | 13.444 | 0.864 | 1.4 | 0.25 | 0.3556 | 0.0635 | 13.474 |
| 51 | 2800 | 0 | 13.444 | 0.065 | 1.33 | 0.145 | 0.33782 | 0.03683 | 13.474 |
| 52 | 2800 | 2000 | 13.444 | 0.864 | 1.415 | 0.27 | 0.35941 | 0.06858 | 13.474 |
| 53 | 2800 | 2200 | 13.444 | 0.944 | 1.42 | 0.29 | 0.36068 | 0.07366 | 13.474 |
| 54 | 2800 | 2400 | 13.444 | 1.024 | 1.46 | 0.325 | 0.37084 | 0.08255 | 13.474 |
| 55 | 2800 | 2600 | 13.444 | 1.104 | 1.47 | 0.345 | 0.37338 | 0.08763 | 13.474 |
| 56 | 2800 | 2800 | 13.444 | 1.184 | 1.48 | 0.37 | 0.37592 | 0.09398 | 13.474 |
| 57 | 2800 | 3000 | 13.444 | 1.264 | 1.495 | 0.395 | 0.37973 | 0.10033 | 13.474 |
| 58 | 2800 | 0 | 13.444 | 0.065 | | | 0 | 0 | 13.479 |
| 59 | 2800 | 3000 | 13.444 | 1.264 | 1.535 | 0.38 | 0.38989 | 0.09652 | 13.474 |
| 60 | 2800 | 3200 | 13.444 | 1.344 | 1.55 | 0.4 | 0.3937 | 0.1016 | 13.474 |
| 61 | 2800 | 3400 | 13.444 | 1.424 | 1.56 | 0.43 | 0.39624 | 0.10922 | 13.473 |
| 62 | 2800 | 3600 | 13.444 | 1.504 | 1.58 | 0.46 | 0.40132 | 0.11684 | 13.473 |
| 63 | 2800 | 3800 | 13.444 | 1.584 | 1.59 | 0.485 | 0.40386 | 0.12319 | 13.473 |
| 64 | 2800 | 4000 | 13.444 | 1.664 | 1.61 | 0.51 | 0.40894 | 0.12954 | 13.473 |
| 65 | 2800 | 0 | 13.444 | 0.065 | 1.45 | 0.23 | 0.3683 | 0.05842 | 13.474 |
| 66 | 3000 | 0 | 14.353 | 0.065 | 1.485 | 0.2 | 0.37719 | 0.0508 | 14.383 |
| 67 | 3200 | 0 | 15.262 | 0.065 | 1.53 | 0.15 | 0.38862 | 0.0381 | 15.291 |
| 68 | 3400 | 0 | 16.171 | 0.065 | | | 0 | 0 | 16.206 |
| | | | | 0.065 | | | 0 | 0 | |

Anexo 4. Resultados espécimen 3

| # DATO | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001") | | DEFORMACION (CM) | | FUERZA REAL APLICADA | |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------------|------------|----------------------|--|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | |
| 1 | 0 | 380 | 0 | 0.217 | 0.06 | 0.4 | 0.015 | 0.102 | 0 | |
| 2 | 400 | 0 | 2.537 | 0.065 | 0.335 | 0.39 | 0.065 | 0.099 | 2.571 | |
| 3 | 0 | 380 | 0.719 | 0.217 | 0.045 | 0.035 | 0.011 | 0.009 | 0.754 | |
| 4 | 400 | 600 | 2.537 | 0.305 | 0.1 | 1.1 | 0.025 | 0.279 | 2.572 | |
| 5 | 600 | 0 | 3.446 | 0.065 | 0.405 | 1.04 | 0.103 | 0.264 | 3.480 | |
| 6 | 0 | 600 | 0.719 | 0.305 | 0.13 | 0.21 | 0.033 | 0.053 | 0.754 | |
| 7 | 600 | 800 | 3.446 | 0.385 | 0.17 | 1.55 | 0.043 | 0.394 | 3.481 | |
| 8 | 800 | 0 | 4.355 | 0.065 | 1.53 | 1.44 | 0.389 | 0.366 | 4.384 | |
| 9 | 0 | 800 | 0.719 | 0.385 | 0.19 | 0.34 | 0.048 | 0.086 | 0.754 | |
| 10 | 800 | 1000 | 4.355 | 0.465 | 0.31 | 2.1 | 0.079 | 0.533 | 4.389 | |
| 11 | 1000 | 1000 | 5.264 | 0.465 | | | 0.000 | 0.000 | 5.299 | |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0.065 | | | 0.000 | 0.000 | 0.036 | |
| 13 | 0 | 400 | 0 | 0.225 | 0.01 | 1.23 | 0.003 | 0.312 | 0.036 | |
| 14 | 0 | 600 | 0 | 0.305 | 0 | 1.58 | 0.000 | 0.401 | 0.036 | |
| 15 | 0 | 800 | 0 | 0.385 | 0.04 | 1.99 | 0.010 | 0.505 | 0.036 | |
| 16 | 0 | 1000 | 0 | 0.465 | 0.01 | 2.57 | 0.003 | 0.653 | 0.036 | |
| 17 | 0 | 1200 | 0 | 0.545 | -0.01 | 3.36 | -0.003 | 0.853 | 0.036 | |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0.065 | | -0.02 | 0.000 | -0.005 | 0.036 | |
| 19 | 0 | 1200 | 0 | 0.545 | | 3.77 | 0.000 | 0.958 | 0.036 | |
| 20 | 0 | 1400 | 0 | 0.625 | | 5.62 | 0.000 | 1.427 | 0.036 | |
| 21 | 0 | 1400 | 0 | 0.625 | | 1.72 | 0.000 | 0.437 | 0.036 | |
| 22 | | | | | | 7.07 | 0.000 | 1.796 | 0.036 | |

Anexo 5. Resultados espécimen 4

| # DATO | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001") | | DEFORMACION (CM) | |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------------|------------|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICA | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL |
| 1 | | 400 | | 0.225 | 0.030 | 0.310 | 0.008 | 0.079 |
| 2 | | 0 | | 0.065 | | 0.140 | 0.000 | 0.036 |
| 3 | | 400 | | 0.225 | | 0.720 | 0.000 | 0.183 |
| 4 | | 600 | | 0.305 | 0.130 | 1.150 | 0.033 | 0.292 |
| 5 | | 0 | | 0.065 | | 0.280 | 0.000 | 0.071 |
| 6 | | 600 | | 0.305 | | 1.240 | 0.000 | 0.315 |
| 7 | | 800 | | 0.385 | 0.190 | 1.780 | 0.048 | 0.452 |
| 8 | | 0 | | 0.065 | 0.100 | 0.460 | 0.025 | 0.117 |
| 9 | | 800 | | 0.385 | 0.180 | 2.000 | 0.046 | 0.508 |
| 10 | | 1000 | | 0.465 | 0.120 | 2.900 | 0.030 | 0.737 |
| 11 | | 0 | | 0.065 | | 1.040 | 0.000 | 0.264 |
| 12 | | 1000 | | 0.465 | | 3.720 | 0.000 | 0.945 |
| 13 | | 1200 | | 0.545 | | 5.490 | 0.000 | 1.394 |
| 14 | | 0 | | 0.065 | | 2.910 | 0.000 | 0.739 |
| 15 | | 1200 | | 0.545 | | 6.920 | 0.000 | 1.758 |
| 16 | | 1400 | | 0.625 | | 8.260 | 0.000 | 2.098 |
| 17 | | | | | | | | |

Anexo 6. Resultados espécimen 5

| # DATO | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001") | | DEFORMACION (CM) | |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------------|------------|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICA | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL |
| 1 | | 400 | | 0.225 | | 0.520 | 0.000 | 0.132 |
| 2 | | 0 | | 0.065 | | 0.100 | 0.000 | 0.025 |
| 3 | | 400 | | 0.225 | 0.15 | 0.620 | 0.038 | 0.157 |
| 4 | | 600 | | 0.305 | | 1.120 | 0.000 | 0.284 |
| 5 | | 0 | | 0.065 | 0.06 | 0.280 | 0.015 | 0.071 |
| 6 | | 600 | | 0.305 | 0.3 | 1.270 | 0.076 | 0.323 |
| 7 | | 800 | | 0.385 | | 1.840 | 0.000 | 0.467 |
| 8 | | 0 | | 0.065 | | 0.510 | 0.000 | 0.130 |
| 9 | | 800 | | 0.385 | 0.48 | 2.010 | 0.122 | 0.511 |
| 10 | | 1000 | | 0.465 | | 2.610 | 0.000 | 0.663 |
| 11 | | 0 | | 0.065 | | 0.890 | 0.000 | 0.226 |
| 12 | | 1000 | | 0.465 | | 3.080 | 0.000 | 0.782 |
| 13 | | 1200 | | 0.545 | 0.8 | 3.490 | 0.203 | 0.886 |
| 14 | | 0 | | 0.065 | 0.3 | 1.300 | 0.076 | 0.330 |
| 15 | | 1200 | | 0.545 | 0.89 | 3.760 | 0.226 | 0.955 |
| 16 | | 1400 | | 0.625 | | 5.940 | 0.000 | 1.509 |
| 17 | | 0 | | 0.065 | | 2.180 | 0.000 | 0.554 |
| 18 | | 1400 | | 0.625 | | 7.950 | 0.000 | 2.019 |
| 19 | | | | | | 9.930 | 0.000 | 2.522 |

Anexo 7 Resultados espécimen 6

| # DATO | PRESION (PSI) | | FUERZA (TON) | | DEFORMACION (0.001) | | DEFORMACION (CM) | |
|--------|---------------|------------|--------------|------------|---------------------|------------|------------------|------------|
| | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICA | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL | VERTICAL | HORIZONTAL |
| 1 | | 400 | | 0.225 | | 0.280 | 0 | 0.071 |
| 2 | | 0 | | 0.065 | | 0.050 | 0 | 0.013 |
| 3 | | 400 | | 0.225 | 0.04 | 0.350 | 0.0102 | 0.089 |
| 4 | | 600 | | 0.305 | 0.04 | 0.790 | 0.0102 | 0.201 |
| 5 | | 0 | | 0.065 | | 0.060 | 0 | 0.015 |
| 6 | | 600 | | 0.305 | | 0.082 | 0 | 0.021 |
| 7 | | 800 | | 0.385 | | 1.290 | 0 | 0.328 |
| 8 | | 0 | | 0.065 | | 0.360 | 0 | 0.091 |
| 9 | | 800 | | 0.385 | | 1.400 | 0 | 0.356 |
| 10 | | 1000 | | 0.465 | | 2.000 | 0 | 0.508 |
| 11 | | 0 | | 0.065 | | 0.670 | 0 | 0.170 |
| 12 | | 1000 | | 0.465 | | 2.200 | 0 | 0.559 |
| 13 | | 1200 | | 0.545 | | 2.230 | 0 | 0.566 |
| 14 | | 0 | | 0.065 | | 1.040 | 0 | 0.264 |
| 15 | | 1200 | | 0.545 | | 3.100 | 0 | 0.787 |
| 16 | | 1400 | | 0.625 | | 4.890 | 0 | 1.242 |
| 17 | | 0 | | 0.065 | | 2.850 | 0 | 0.724 |
| 18 | | 1400 | | 0.625 | | 0.000 | | 0.000 |

Anexo 8 Maquina completa

